

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«ПЛАЗМОНІКА»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий магістерський рівень вищої освіти

галузь знань 10 Природничі науки

спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма радіофізика та електроніка

спеціалізація _____

вид дисципліни за вибором

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“ 24 ” червня 2024 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
д.ф.-м.н., доцент, професор Олег РИБІН

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



(підпис) проф. Вячеслав МАСЛОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) _____
Радіофізика та електроніка
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) _____проф. Вячеслав МАСЛОВ


(підпис) Вячеслав МАСЛОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 24 ” червня 2024 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем



(підпис) (проф. Олександр БУТРИМ)
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Плазмоніка та метаматеріали»
складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки
магістр
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напрямку) 105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма радіофізика та електроніка

спеціалізація _____

1. Опис навчальної дисципліни

- 1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є надати майбутнім спеціалістам з лазерної фізики необхідного мінімуму попередніх відомостей з особливостей впливу випромінювання лазерів на речовини у різних мікро- та макроскопічних станах
- 1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є засвоєння студентами параметрів лазерного випромінювання і речовин, що обумовлюють їх взаємодію
- Компетентності, що забезпечуються дисципліною:
- K01. Здатність до абстрактного та системного мислення, аналізу та синтезу.
 - K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
 - K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
 - K04. Здатність бути критичним і самокритичним.
 - K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
 - K06. Навички міжособистісної взаємодії.
 - K07. Навички здійснення безпечної діяльності.
 - K08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
 - K09. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.
 - K10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.
 - K11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо. Готовність діяти в нестандартних ситуаціях.
 - K12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
 - K13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
 - K14. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.
 - K15. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.
 - K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної теоретичної та прикладної фізики.
 - K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів.
 - K18. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами,

обробляти та аналізувати результати досліджень.

K19. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати числові методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем.

K20. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи, та керувати колективом у сфері своєї професійної діяльності.

K21. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

K22. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

K23. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень.

K24. Орієнтація на найвищі наукові стандарти
– обізнаність щодо фундаментальних відкриттів і теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики та інших природничих наук.

K25. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та неформальну освіту.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
-
Лабораторні заняття
-
Самостійна робота
58 год.
Контрольні роботи
-

1.6. Заплановані результати навчання

знати: основи теорії взаємодії електромагнітних хвиль з металами; розуміти основні ідеї щодо збудження поверхневих плазмон-поляритонів і можливостей використання плазмонних коливань на практиці.

вміти: вимірювати використовувати найпростіші математичні моделі плазмоніки щодо теоретичної характеристики збудження поверхневих плазмон-поляритонів.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною

ПР01. Здатність продемонструвати знання і розуміння наукових і математичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач та виконання досліджень в галузі теоретичної та прикладної фізики, ядерної та термоядерної енергетики, тощо.

ПР02. Здатність продемонструвати знання сучасного стану справ, тенденції розвитку, найбільш важливі розробки та новітні технології в галузі теоретичної та прикладної фізики, радіофізики та електроніки, ядерної та термоядерної енергетики, космічних досліджень, тощо.

ПР03. Здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації.

ПР04. Здатність продемонструвати розуміння впливу технічних рішень в суспільному, економічному, соціальному і екологічному контексті.

ПР05. Вміти вибирати методи і моделювати явища та процеси в динамічних лінійних і нелінійних системах, а також аналізувати отримані результати.

ПР06. Вміти самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати.

ПР07. Вміти застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових наукових і інженерних завдань.

ПР08. Вміти застосовувати отримані знання й практичні навички, адаптувати результати наукових досліджень під час створення нового та експлуатації існуючого радіотехнічного, електронного, електротехнічного устаткування та його складових.

ПР09. Вміти застосовувати знання і розуміння для розв'язування задач аналізу та синтезу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації.

ПР10. Вміти здійснювати пошук, аналізувати та критично оцінювати інформацію з різних джерел.

ПР11. Вміти ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди.

ПР12. Вміти поєднувати теорію та практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.

ПР13. Вміти самостійно виконувати експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою.

ПР14. Вміти критично проаналізувати основні показники функціонування системи та оцінити використані технічні рішення та обладнання.

ПР15. Вміти застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання інженерних задач обраної спеціалізації та проведення досліджень.

ПР16. Вміти аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.

ПР17. Вміти ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях, включаючи усну та письмову комунікацію іноземною мовою.

ПР18. Вміти представляти та обговорювати отримані результати та здійснювати трансфер набутих знань.

ПР19. Здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення.

ПР20. Здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань.

ПР21. Здатність відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої

мети з дотриманням вимог професійної етики.

ПР22. Здатність демонструвати розуміння засад охорони праці, електробезпеки та їх застосування

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Світ наночастинок.

Тема 1. Історична довідка. Коротка історія використання людством наночастинок. Формування математичного апарату щодо описання взаємодії електромагнітних хвиль з наночастинами.

Тема 2. Сучасні методи синтезу плазмонних частинок. Методи хімічних реакцій у твердому тілі. Методи нанохімії. Газофазний синтез. Нанолітографія. Використання сфокусованих іонних пучків.

Тема 3. Наночастинки та наноструктури. Розмаїття наноструктур, що виготовлялося людством на протязі віків.

Розділ 2. Вступ до плазмоніки.

Тема 1. Основи математичного апарату взаємодії ЕМ хвиль з металами. Рівняння Максвелла. Теорія Друде-Зомерфельда. Об'ємні плазмони.

Тема 2. Об'ємні плазмони. Основні поняття газу вільних електронів. Дисперсійне рівняння.

Тема 3. Поверхневі плазмони. Поверхневі плазмон-поляритони на одиночній границі розділу метал-діелектрик. Поверхневі плазмони у шаруватому середовищі. Схема параметричних генераторів з перестроюванням частоти шляхом зміни кутів синхронізму або температури кристалів. Нелінійно-оптичні матеріали для параметричних генераторів світла.

Тема 4. Збудження поверхневих плазмонів. Збудження поверхневих плазмонів на основі порушення повного внутрішнього відбиття. Збудження поверхневих плазмонів методом поверхневої дифракційної решітки. Збудження поверхневих плазмонів методом нанолокалізованих джерел світла. Спостереження поверхневих плазмонів.

Розділ 3. Плазмонні коливання в наночастинках.

Тема 1. ϵ -метод розв'язання рівнянь Максвелла. Випадок частинок довільної форми. Випадок наночастинок. Аналогія між спектрами локалізованих плазмонів і спектрами атомів та молекул.

Тема 2. Оптичні властивості сферичних частинок. Теорія Мі. Оптичні резонанси у сферичних частинках довільних розмірів. Взаємодія поздовжніх та поперечних плазмонів. Оптичні резонанси у шаруватих сферичних частинках.

Тема 3. Локалізовані плазмони у кластерах наночастинок. Класифікація плазмонних коливань у кластерах наночастинок. Плазмони в кластері з двох однакових сфер. Плазмонні коливання в кластері з більш, ніж двох наночастинок. Сили ван дер Ваальса між плазмоніями частинками. Збудження плазмонних коливань у кластерах наночастинок.

Тема 4. Застосування плазмоніки. Візуалізація пухлин за допомогою наночастинок. Біосенсори на поверхневих плазмонах. Плазмонні хвильоводи.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		Л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Світ наночастинок.						
Тема 1. Історична довідка.	2	2				
Тема 2. Сучасні методи синтезу плазмонних частинок.	16	4				12
Тема 3. Наночастинок та наноструктури.	8	2				6
Разом за розділом 1	26	8				18
Розділ 2. Вступ до плазмониці.						
Тема 1. Основи математичного апарату взаємодії ЕМ хвиль з металами.	6	2				4
Тема 2. Об'ємні плазмони.	8	2				6
Тема 3. Поверхневі плазмони.	10	4				6
Тема 4. Збудження поверхневих плазмонів.	6	2				4
Разом за розділом 2	30	10				20
Розділ 3. Плазмонні коливання в наночастинках.						
Тема 1. ϵ -метод розв'язання рівнянь Максвелла.	8	4				4
Тема 2. Оптичні властивості сферичних частинок.	8	2				6
Тема 3. Локалізовані плазмони у кластерах наночастинок.	8	4				4
Тема 4. Застосування плазмониці.	10	4				6
Разом за розділом 3	34	14				20
Усього годин	90	32				58

4. Теми практичних/семінарських занять

Практичних занять/семінарських не передбачено

5. Теми лабораторних робіт

Лабораторних робіт не передбачено

6. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання практичних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 2. Сучасні методи синтезу	12

	плазмонних частинок.	
2	Розділ 1. Тема 3. Наночастинки та наноструктури.	6
3	Розділ 2. Тема 1. Основи математичного апарату взаємодії ЕМ хвиль з металами.	4
4	Розділ 2. Тема 2. Об'ємні плазмони.	6
5	Розділ 2. Тема 3. Поверхневі плазмони.	6
6	Розділ 2. Тема 4. Збудження поверхневих плазмонів.	4
7	Розділ 3. Тема 1. ϵ -метод розв'язання рівнянь Максвелла.	4
8	Розділ 3. Тема 2. Оптичні властивості сферичних частинок.	6
9	Розділ 3. Тема 3. Локалізовані плазмони у кластерах наночастинок.	4
10	Розділ 3. Тема 4. Застосування плазмониці.	6
Усього годин		58

7. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

8. Методи навчання

Курс побудовано на лекціях, що знайомлять студентів з новим матеріалом по дисципліні та дозволяють у деяких випадках організувати усне опитування по теоретичному матеріалу. На самостійну роботу виведено низку питань, що вивчається, але входить частково або не входять взагалі до лекцій.

9. Методи контролю

Поточний контроль включає самостійну роботу (40 балів), усне опитування по теоретичному матеріалу (10 балів) та два коротких контрольних завдання протягом лекцій у семестрі (15 балів).

Підсумковий контроль - іспит (40 балів).

10. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота													Іспит	Сума	
Розділ 1				Розділ 2				Розділ 3					Разом	40	100
T1	T2	T3	KP1	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	KP	60		
3	3	3	7	5	4	5	5	4	4	4	5	8			

T1, T2 ... – теми розділів, передбачені навчальним планом.

KP - контрольна робота, передбачені навчальним планом.

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 10 можливих балів за тему. Тоді студент допускається до іспиту. Студент не допускається до заліку, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом <10 балів вважаються такими, що не допущені до іспиту з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до іспиту шляхом виправлення нульових оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей устанавлюється викладачем.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. Виконання кожного завдання екзаменаційного білета оцінюється балом за **шкалою оцінювання**

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недоброчесність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формулі і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка іспиту за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (П1+П2+П3)/3,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білету.

11. Рекомендована література

Основна література

1. Stefan A. Mayer. Plasmonics: Fundamental and Applications. Springer, 2007. – 223 p.
2. Said Zouhdi, Ari Shihvola, Alexey P. Vinogradov. Metamaterials and Plasmonics. Springer, 2008. – 305 p.
3. V. Klimov. Nano Plasmonics. Taylor & Francis Group LLC, 2013. – 601 p.

Допоміжна література

4. О.А. Єщенко. Плазмоніка. Учбовий посібник. Київський національний університет імені Т.Г. Шевченко, 2013. – 177 с.
5. Lukas Novotny, Bert Hecht. Principle of Nano-Optics. Cambridge University Press, 2007. – 558 p.
6. M.A. Garcia. Surface plasmons in metallic nanoparticles: fundamentals and applications. Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 45, no. 38, 2012, p. 389501.

12. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. www.Edx.org
2. www.Courser.org