

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та

КОМП



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«НЕЛІНІЙНА ОПТИКА»

(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



проф. Вячеслав МАСЛОВ

(підпис)

(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



Вячеслав МАСЛОВ

(підпис)

(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



(проф. Олександр БУТРИМ)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Нелінійна оптика»

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 вимірними 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 – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
	За вибором
	Денна форма навчання
	Рік підготовки
	1-й
	Семестр
	2-й
	Лекції
	32 год.
	Практичні, семінарські заняття
	16
	Лабораторні заняття
	-
	Самостійна робота
	102 год.
	Контрольні роботи
	2

1.6. Заплановані результати навчання

знати: параметри лазерного випромінювання і речовини, обумовлюють їх взаємодію, стан атомів молекул у сильному світловому полі, нелінійні сприйнятливості прозорих середовищ, нелінійні оптичні явища за трьох та чотирьох хвильовою взаємодією, ефекти лазерного створення плазми;

вміти: вимірювати та аналізувати параметри лазерів, розраховувати характеристики їх випромінювання та характеристики перетворювачів їх частоти, проводити підготовку засобів лазерної техніки та лазерних мішеней до відповідних експериментів.

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. Первинні поняття.

Тема 1. Інтенсивне випромінювання у нелінійній оптиці. Вплив інтенсивності світла на характер оптичних явищ. Поняття про нелінійні сприйнятливості. Типи нелінійних матеріалів. Необхідні умови для спостереження нелінійних явищ.

Тема 2. Умови для спостереження нелінійних явищ в оптиці. Хвильове рівняння у нелінійній оптиці. Достатні умови нелінійних явищ при генерації другої гармоніки. Генерація комбінаційних частот. Поняття оптичної довжини шляху.

Тема 3. Моделі взаємодії інтенсивного випромінювання з речовиною. Елементи багатофотонної оптики. Лінійна модель. Моделі ангармонічного осцилятора. Квантова дворівнева модель. Багатофотонні процеси. Ефект Штарка. Оптичний пробій середовища.

Розділ 2. Нелінійні перетворення при зміні частоти світла.

Тема 1. Фазовий синхронізм. Оптичні хвилі у кристалах. Фазовий синхронізм в одновісних кристалах. Фазовий синхронізм при генерації другої гармоніки. Фазовий синхронізм при трьохчастотній параметричній взаємодії. Визначення фазовий синхронізму на практиці. Температурна перебудова хвильового синхронізму.

Тема 2. Метод повільно мінливих амплітуд. Рівняння для зв'язаних амплітуд. Співвідношення Менлі-Роу. Генерація сумарної частоти. Генерація другої гармоніки.

Тема 3. Просторові і часові ефекти при нелінійному перетворенні частоти. Поглинання. Дифрагмене апертурне явище. Генерація другої гармоніки у жмутках, що розбігаються. Генерація другої гармоніки сфокусованих гаусових жмутків. Перетворення монохроматичного випромінювання. Перетворення імпульсного випромінювання.

Тема 4. Параметрична генерація світла. Параметричне підсилення та генерація. Перебудова частоти при параметричній генерації частоти. Модова структура резонатора. Параметричний генератор хвилі, що біжить. Нелінійно-оптичні матеріали для параметричних генераторів світла.

Розділ 3. Нелінійні явища в оптоволоконних системах передачі інформації.

Тема 1. Загальна характеристика оптоволоконних систем передачі та основні нелінійні явища в них. Світловоди та деякі їх характеристики. Види самодії світлових хвиль. Фазова самомодуляція. Фазова крос-модуляція.

Тема 2. Вимушене розсіяння світла та його застосування. Спонтанне розсіяння. Вимушене розсіяння Мандельштама-Брілюена. Електрострикція. ВРМБ-підсилення і ВРМБ-генерація. Вимушене комбінаційне розсіяння.

Тема 3. Поширення лазерних імпульсів в оптоволоконних системах. Основні рівняння нелінійних хвиль у оптиці. Результат одночасного впливу нелінійності і дисперсії. Модуляційна нестійкість. Солітони. Стиснення оптичних імпульсів.

Тема 4. Обернення хвильового фронту. Принцип обернення хвильового фронту. Чотирих хвильова взаємодія. Обернення хвильового фронту при вимушеному розсіянні.

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. Первинні поняття.						
Тема 1. Інтенсивне випромінювання у нелінійній оптиці.	14	2	2			10

Тема 2. Умови для спостереження нелінійних явищ в оптиці.	15	3	2			10
Тема 3. Моделі взаємодії інтенсивного випромінювання з речовиною. Елементи багатофотонної оптики.	15	3	2			10
Разом за розділом 1	44	8	6			30
Розділ 2. Нелінійні перетворення при зміні частоти світла.						
Тема 1. Фазовий синхронізм.	8	2				6
Тема 2. Метод повільно мінливих амплітуд.	11	3				8
Тема 3. Просторові і часові ефекти при нелінійному перетворенні частоти.	13	3	2			8
Тема 4. Параметрична генерація світла.	13	3	2			8
Разом за розділом 2	45	11	4			30
Розділ 3. Нелінійні явища в оптоволоконних системах передачі інформації.						
Тема 1. Загальна характеристика оптоволоконних систем передачі та основні нелінійні явища в них.	14	2	2			10
Тема 2. Вимушене розсіяння світла та його застосування.	13	3				10
Тема 3. Поширення лазерних імпульсів в оптоволоконних системах.	16	4	2			10
Тема 4. Обернення хвильового фронту.	18	4	2			12
Разом за розділом 3	61	13	6			42
Усього годин	150	32	16			102

4. Теми практичних/семінарських занять

№ з/п	Види, зміст практичних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 1. Інтенсивне випромінювання у нелінійній оптиці.	2
2	Розділ 1. Тема 2. Умови для спостереження нелінійних явищ в оптиці.	2
3	Розділ 1. Тема 3. Моделі взаємодії інтенсивного випромінювання з речовиною. Елементи багатофотонної оптики.	2
4	Розділ 2. Тема 3. Просторові і часові ефекти при нелінійному перетворенні частоти.	2

5	Розділ 2. Тема 4. Параметрична генерація світла.	2
6	Розділ 3. Тема 1. Загальна характеристика оптоволоконних систем передачі та основні нелінійні явища в них.	2
7	Розділ 3. Тема 3. Поширення лазерних імпульсів в оптоволоконних системах.	2
8	Розділ 3. Тема 4. Обернення хвильового фронту.	2
Усього годин		16

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 1. Інтенсивне випромінювання у нелінійній оптиці.	10
2	Розділ 1. Тема 2. Умови для спостереження нелінійних явищ в оптиці.	10
3	Розділ 1. Тема 3. Моделі взаємодії інтенсивного випромінювання з речовиною. Елементи багатофотонної оптики.	10
4	Розділ 2. Тема 1. Фазовий синхронізм.	6
5	Розділ 2. Тема 2. Метод повільно мінливих амплітуд.	8
6	Розділ 2. Тема 3. Просторові і часові ефекти при нелінійному перетворенні частоти.	8
7	Розділ 2. Тема 4. Параметрична генерація світла.	8
8	Розділ 3. Тема 1. Загальна характеристика оптоволоконних систем передачі та основні нелінійні явища в них.	10
9	Розділ 3. Тема 2. Вимушене розсіяння світла та його застосування.	10
10	Розділ 3. Тема 3. Поширення лазерних імпульсів в оптоволоконних системах.	10
11	Розділ 3. Тема 4. Обернення хвильового фронту.	12
Усього годин		102

7. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

8. Методи навчання

Курс побудовано на лекціях і практичних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом та складаються з трьох частин по відпрацювання за матеріалом курсу: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання; 3) контрольні роботи. Питання для теоретичного опитування, приклади розв'язання типових завдань, завдання для самостійної роботи студентів наведені в методичному матеріалі з даного курсу. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій.

9. Методи контролю

Поточний контроль включає самостійну роботу (20 балів), виконання контрольних робіт (15 балів) та усне опитування по теоретичному матеріалу на протязі лекцій (15 балів) та розв'язання задач (10 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	KP2	60		
3	3	3	7	5	5	5	5	4	4	4	4	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 іспиту, 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 установлюється викладачем.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. Виконання кожного завдання білету 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:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3,$$

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

11. Рекомендована література

Основна література

1. Robert W. Boyd. Nonlinear Optics. 3-rd edition. – San Francisco: AP, 2020. - 620 p.
2. Chunfei Li. Nonlinear Optics. Principles and Applications. Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai and Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017. – 388 p.

Допоміжна література

3. Fredrik Jonsson. Lecture notes on Nonlinear Optics. – Stockholm: Royal Institute of Technology, 2003. – 169 p.
4. Черногор Л. Ф. Нелінійна радіофізика: Підр. – Х.: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2015. – 184 с.
5. Експериментальна лазерна оптика : підручник для студ. вищих навч. закладів / В. І. Григорук, А. І. Іванісік, П. А. Коротков; Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. - Київ : Київський університет, 2007. - 383 с.

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

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