

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основи нелінійної оптики

для студентів

галузь знань
спеціальність
освітній рівень
освітня програма
вид дисципліни

15 Автоматизація та приладобудування
152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
магістр
Лазерна та оптоелектронна техніка
обов'язкова

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2022/2023
Навчальний семестр	2
Кількість кредитів ECTS	6
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач(і): доцент Ящук Василь Павлович

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.

КИЇВ – 2022

Розробник(и): Ящук Василь Павлович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри оптики.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____

(підпис)



Поперенко Л.В.

(прізвище та ініціали)

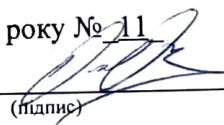
Протокол № 13 від « 19 » травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету _____

Протокол від « 10 » червня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії _____

(підпис)



(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни – надання знань, необхідних для розуміння нелінійно-оптичних процесів генерації та перетворення лазерного випромінювання; ознайомлення з використанням нелінійно-оптичних методів в наукових дослідженнях та діагностиці матеріалів.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності)¹:

1. Знати основи фізичної оптики, електродинаміки та квантової механіки.
2. Знати основи квантової електроніки та володіти навичками роботи з твердо тільними лазерами.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна “Основи нелінійної оптики” вивчає нелінійну взаємодію світла із середовищем, що лежить в основі нелінійно-оптичних методів перетворення та генерації когерентного випромінювання.

Програма складається чотирьох розділів (тем):

Тема 1. Нелінійна поляризація та взаємодія хвиль в нелінійному середовищі.

Тема 2. Генерація оптичних гармонік та параметричні ефекти в квадратичних середовищах.

Тема 3. Вимушене розсіяння світла.

Тема 4. Нелінійні ефекти в кубічних нелінійних середовищах.

Теми діляться на два змістовних модулі:

модуль 1 - теми 1 і 2

модуль 2 - теми 3 і 4.

Методи викладання: лекції, лабораторні демонстрації, консультації. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, реферати та іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок модульного контролю (40%) та іспиту (60%).

4. Завдання (навчальні цілі): - вивчення фізичних механізмів і ефектів, що лежать в основі взаємовпливу інтенсивного лазерного випромінювання і нелінійного середовища, а також нелінійно-оптичних процесів генерації та перетворення лазерного випромінювання.

Дисципліна спрямована на досягнення таких загальних та спеціальних (фахових) компетентностей випускника:

Загальні компетентності

ЗК01. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності виконуваних робіт

Фахові компетентності

ФК03. Знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів експериментальної інформатики.

ФК09. Здатність розробляти програмне, апаратне та метрологічне забезпечення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

ФК16. Здатність проводити теоретичні та експериментальні дослідження фізичних явищ в середовищах, які перебувають в різних фазових станах із застосуванням оптичних методів.

5. Результати навчання за дисципліною (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання):

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати причини, умови і загальні закономірності нелінійно-оптичної взаємодії хвиль в середовищі та властивості нелінійно-оптичних середовищ.	Лекції	Модульна контрольна робота, реферати	15
1.2	Знати основні закономірності генерації другої оптичної гармоніки (ГДГ), параметричного підвищення частоти та параметричного підсилення та генерації світла; розуміти умови застосування цих процесів для розширення спектрального діапазону генерації когерентного випромінювання.	Лекції та демонстрації	Модульна контрольна робота, реферати	20
1.3	Знати методи реалізації фазового синхронізму, вимоги до точності орієнтації нелінійних кристалів, дотримання стабільності температури і частоти випромінювання.	Лекції та демонстрації	Модульна контрольна робота, реферати	15
1.4	Знати умови і загальні закономірності вимушеного Раманівського розсіяння (ВРР) світла і його застосування в спектроскопії, мікроскопії та отримання тривимірних зображень.	Лекції та демонстрації	Модульна контрольна робота, реферати	20
1.5	Знати закономірності основних нелінійно-оптичних ефектів в середовищах з кубічною нелінійною сприйнятливостю: самофокусування та двохфотонного поглинання; розуміти принципи і можливості двохфотонної мікроскопії.	Лекції та демонстрації	Модульна контрольна робота, реферати	20
2.1	Вміти вибирати оптимальні схеми генераторів другої оптичної гармоніки та параметричних генераторів світла в залежності від практичних завдань і налаштовувати їх роботу.	Лекції та демонстрації	Самостійна робота	5
2.2	Вміти вибирати оптимальні умови спостережень (чи запобігання) вимушеного комбінаційного розсіяння та самофокусування.	Лекції та демонстрації	Самостійна робота	5

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2
Програмні результати навчання (назва)							
ПР13. Застосовувати апаратні та програмні засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач в сфері метрології та інформаційно-виміральної техніки.						+	+
ПР17. Знати і розуміти принципи функціонування та будови оптичних та оптико-електронних інформаційно-вимірвальних систем.	+	+	+	+	+		
ПР18. Знати і розуміти фізичні основи функціонування пристроїв та систем на основі лазерної техніки та нелінійної оптики.	+	+	+	+	+		
ПР19. Вміти здійснювати планування та проводити експериментальне дослідження структурних, оптичних та електрофізичних властивостей органічних (в тім числі біологічних та наноб'єктів) і неорганічних середовищ.	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів (перелік видів робіт та форм їх контролю/ оцінювання із зазначенням мін. - граничної та макс. кількості балів чи відсотків):

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (6 балів – 10 балів) і 2 реферати (3 — 5 балів кожний).
2. Модульна контрольна робота 2 (6 балів – 10 балів) і 2 реферати (3 — 5 балів кожний), всього мінімум 24 бали, максимум – 40 балів.

- підсумкове оцінювання у формі іспиту (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі).

	Модуль 1		Модуль 2		Екзамен	Підс. оцінка
	Контр. роб. 1	Реф. 1 і 2	Контр. роб. 2	Реф. 3 і 4		
Мінім.	6	6 (3x2)	6	6 (3x2)	36	60
Макс.	10	10 (5x2)	10	10 (5x2)	60	100

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав *менше ніж 24 бали*. Оцінка за іспит не може бути *меншою 36 балів* для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

7.2 Організація оцінювання: Кожна модульна контрольна робота і написання рефератів проводиться після вивчення відповідних тем.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

Програма навчальної дисципліни

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять.

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
<i>Змістовий модуль 1.</i>				
<i>Тема1. Нелінійна поляризація та взаємодія хвиль в нелінійному середовищі.</i>				
1	Вступ. Нелінійна поляризація і нелінійні середовища. Вплив нелінійних середовищ на розповсюдження і взаємодію світлових пучків. Нелінійна оптика та основні нелінійно-оптичні явища.	2		4
2	Механізм виникнення та властивості нелінійної сприйнятливості. Нелінійна (ангармонічна) осциляторна модель Лоренца.	2		4

3	Співвідношення Клейнмана. Вплив симетрії на тензор нелінійної квадратичної сприйнятливості. Залежність поляризації від поля для квадратичного нелінійного середовища.	2		4
4	Нелінійне хвильове рівняння та роль його складових	2		4
5	Вкорочені рівняння нелінійні рівняння.	2		4
6	Зведені вкорочені рівняння. Параметричний характер взаємодії хвиль в нелінійному квадратичному середовищі. Співвідношення Менлі-Роу.	2		4
Тема 2. Генерація оптичних гармонік та параметричні ефекти в квадратичних середовищах				
7	Генерація другої оптичної гармоніки (ГДГ) в наближенні заданого поля. Фазовий синхронізм і його природа. Типи нелінійної взаємодії.	2		4
8	Методи реалізації фазового синхронізму. Криві синхронізму, вимоги до параметрів лазерного пучка і нелінійного кристалу.	2		4
9	ГДГ в сфокусованих пучках. Апертурні і нестационарні ефекти при генерації Оптичні схеми ефективної ГДГ.	2		4
10	ГДГ в залежності від хвильового розладу при малій та високій ефективності перетворення. Когерентна та нелінійна відстань в нелінійному кристалі; оптимальна довжина нелінійного кристала.	2		4
11	Внутрішньо резонаторна генерація ДГ; Оптимізація умов внутрішньо резонаторної генерації ДГ. Лазерні указки.	2		4
12	Параметричне перетворення частоти. Залежність інтенсивності перетвореного випромінювання від відстані і параметрів нелінійного середовища.	2		4
13	Параметричне параметричне розсіяння світла та його властивості.	2		4
14	Параметричне підсилення світла. Залежність інтенсивності підсиленого випромінювання від відстані і параметрів нелінійного середовища, коефіцієнт параметричного підсилення.	2		4
15	Параметрична генерація світла (ПГС). Фактори, що впливають на частоту і стабільність випромінювання ПГС. Поріг ПГС.	2		4
16	Оптичні схеми ПГС. Переналаштування частоти випромінювання ПГС. Застосування ПГС для розширення спектрального діапазону випромінювання лазерів.	2		4
17	Нелінійні оптичні кристали. Критерії вибору нелінійних кристалів в залежності від практичних завдань.	2		4
	Модульна контрольна робота №1.		X	

Змістовий модуль 2.				
Тема 3. Вимушене розсіяння світла				
18	Лекція 9. Вимушене Раманівське розсіяння (ВРР) світла. Механізм і відмінність виникнення ВРР від спонтанного Раманівського розсіяння. Вкорочені рівняння, що описують ВРР.	2		4
19	Нелінійна поляризація та вкорочені рівняння, що описують ВРР.	2		4
20	Комбінаційне підсилення і його застосування в телекомунікаціях. Залежність інтенсивності підсиленого випромінювання від відстані і параметрів нелінійного середовища. Комбінаційні лазери.	2		4
21	Закономірності генерації антистоксових та вищих стоксових компонент ВРР. Співвідношення когерентності у ВРР.	2		4
22	Когерентна Раманівська спектроскопія (CARS).	4		4
23	Раманівський мікроскоп і побудова об'ємних зображень. Обернене Раманівське розсіяння.	2		4
24	Вимушене розсіяння на хвилях збудження середовища; вимушене розсіяння Мандельштама-Бріллюена.	2		4
Тема 4. Нелінійні ефекти в кубічних нелінійних середовищах та їх використання в спектроскопії та мікроскопії				
25	Двофотонне (ДФП) та багато фотонне поглинання світла. Квантовомеханічний розгляд ДФП та вираз для ймовірності	2		4
26	Закономірності ефекту ДФП. Використання ДФП в спектроскопії. Двофотонна мікроскопія, її особливості та використання.	2		4
27	Самофокусування світлових пучків. Поріг та довжина самофокусування. Нестационарні ефекти при самофокусуванні.	2		4
28	Фізичні ефекти, що призводять до самофокусування. Вкорочене рівняння, що описує ДФП.	2		4
29	Чотирьоххвильове змішування і завертання хвильового фронту	2		4
30	Підсумковий огляд нелінійних ефектів і умов їх протікання	2		4
	Модульна контрольна робота №2.		X	
	ВСЬОГО	60		120

*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 180 год. в тому числі:

Лекцій – **60 год.**

Самостійна робота - **120 год.**

9. Рекомендована література:

Основна:

1. Robert W. Boyd. Nonlinear Optics. 4th edit., Academic Press, 2020, 627p.
2. B.E.A. Saleh & M.C. Teich. Fundamentals of photonics, 3rd edit., Willey, 2019, 2751 p..
3. M.Bass, C. DeCusatis, J.Enoch et al. Handbook of Optics, 3rd edit. Vol. IV: Optical properties of materials, Nonlinear optics, Quantum optics, 2010, 1153 p.
4. Ji-Xin Cheng, Xiaoliang Sunney Xie. Coherent Scattering Microscopy, CRC Press, 2018, 610 p.

Додаткова:

5. V.Dmitriev, G. Gurzadyan, D.Nikogosyan. Handbook of nonlinear Optical Crystals, Springer, 2014, 224 p.
6. R.Menzel. Photonics. Linear and Nonlinear Interactions of Laser Light and Matter. 2nd edit., Springer, 2007, 1041p.
7. ДСТУ EN 60825-1:2019 Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги (EN 60825-1:2014, IDT ; ІЕС 60825-1:2014, IDT).