

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

## Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана

навчальної роботи

Момот О.В.



« 23 » травня 2025 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Нелінійна оптика

для студентів

галузь знань  
спеціальність  
освітній рівень  
освітня програма  
вид дисципліни

Е Природничі науки, математика та статистика  
Е5 Фізика та астрономія  
магістр  
Оптика, лазерна фізика  
обов'язкова

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2025/2026
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 – 2025

Розробник(и): Ящук Василь Павлович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри оптики.  
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри оптики

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

(Кондратенко С.В.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 8 від «19» травня 2025 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «23» травня 2025 року №10

Голова науково-методичної комісії

\_\_\_\_\_  
(підпис)



(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

## 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)<sup>0</sup>:**

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 взаємодії 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

- ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Спеціальні (фахові) компетентності

СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК07. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

СК09. Вміти використовувати методи чисельних та аналітичних розрахунків в оптиці.

**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	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій
---	-------------------	-------------------	------------------------

Код	Результат навчання	і навчання		оцінці з дисципліни
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, параметричного підсилення і 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 умови спостережень вимушеного комбінаційного розсіяння та CARS.	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
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>							
ПРН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.	+	+	+	+	+		
ПРН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.	+	+		+	+		
ПРН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.	+	+	+	+	+	+	+
ПРН17. Знати і розуміти фізичні основи функціонування оптичних пристроїв та систем.	+	+	+	+	+	+	+

## 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:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку 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
<b>Змістовий модуль 1.</b>				
<b>Тема1. Нелінійна поляризація та взаємодія хвиль в нелінійному середовищі.</b>				
1	Лекція 1. Вступ. Нелінійна поляризація і нелінійні середовища. Вплив нелінійних середовищ на розповсюдження і взаємодію світлових пучків. Нелінійна оптика та основні нелінійно-оптичні явища.	2		3
2	Лекція 2. Механізм та властивості нелінійної сприйнятливості. Співвідношення Клеймана. Вплив симетрії на тензор нелінійної квадратичної сприйнятливості.	2		5
3	Лекція 3. Нелінійне хвильове рівняння та фізичний зміст його складових. Вкорочені хвильові рівняння.	2		4
4	Лекція 4. Приведені вкорочені рівняння та їх аналіз. Параметрична природа взаємодії хвиль в нелінійному середовищі. Співвідношення Менлі-Роу.	2		4

<b>Тема 2. Генерація оптичних гармонік та параметричні ефекти в квадратичних середовищах</b>				
5	Лекція 5. Генерація другої оптичної гармоніки (ГДГ) в наближенні заданого поля та її закономірності. Просторовий синхронізм і причина його виникнення.	2		4
6	Лекція 6. Генерація другої гармоніки при малій і високій ефективності перетворення. Когерентна і нелінійна довжина.	2		4
7	Лекція 7. Просторовий синхронізм в анізотропних кристалах. Типи нелінійної взаємодії. Розрахунки кута синхронізму. Кутова, температурна і частотна криві синхронізму.	2		4
8	Лекція 8. Апертурні ефекти при генерації другої гармоніки. ГДГ в сфокусованих пучках. Внутрішньо резонаторна генерація другої гармоніки. Генерація вищих гармонік.	2		4
9	Лекція 9. Параметричне перетворення частоти. Залежність інтенсивності перетвореного випромінювання від відстані і параметрів нелінійного середовища.	2		4
10	Лекція 10. Параметричне підсилення, його механізм та рівняння, що його описують. Коефіцієнт параметричного підсилення та залежність його від інтенсивності накачування і параметрів нелінійного середовища.	2		4
11	Лекція 11. Параметричне розсіяння світла та його особливості.	2		4
12	Лекція 12. Параметрична генерація світла (ПГС) та рівняння, що його описують. Поріг ПГС.	2		4
13	Лекція 13. Методи переналаштування частоти випромінювання ПГС. Оптичні схеми ПГС. Застосування ПГС для розширення спектрального діапазону когерентного випромінювання.	2		4
	Модульна контрольна робота №1.		X	
<b>Змістовий модуль 2.</b>				
<b>Тема 3. Вимушене розсіяння світла</b>				
14	Лекція 14. Вимушене раманівське розсіяння (ВРР) світла і механізм його виникнення. Вкорочені рівняння, що описують ВРР. Залежність інтенсивності розсіяного випромінювання від відстані і параметрів нелінійного середовища.	2		4
15	Лекція 15. Генерація антистоксових та вищих стоксових компонент ВРР та її особливості. Співвідношення когерентності у ВРР.	2		4
16	Лекція 16. Когерентне антистоксове раманівське розсіяння світла (CARS) і активна спектроскопія	2		4

	раманівського розсіяння. Обернене раманівське розсіяння.			
17	Лекція 17. Раманівські підсилювачі і лазери. Вимушене розсіяння на хвилях збудження середовища.	2		4
18	Лекція 18. Вимушене розсіяння Манделштам-Бріллюена, його закономірності і застосування.	2		4
<b>Тема 4. Нелінійні ефекти в кубічних нелінійних середовищах</b>				
19	Лекція 19. Двохфотонне (ДФП) та багатофотонне поглинання світла, їх механізм та експериментальні прояви. Поляризація та вкорочене рівняння, що описує ДФП.	2		3
20	Лекція 20. Квантовомеханічний опис, ймовірність і закономірності ефекту ДФП.	2		5
21	Лекція 21. Застосування ДФП в спектроскопії, мікроскопії і оптиці надшвидких процесів.	2		4
22	Лекція 22. Самофокусування світлових пучків і його механізм. Поріг та довжина самофокусування. Поляризація та вкорочене рівняння, що описує самофокусування.	2		4
	Модульна контрольна робота №2.			
<b>Теми лабораторних робіт</b>				
1	Генерація другої оптичної гармоніки		4	7
2	Двохфотонне поглинання світла		3	7
3	Вимушене раманівське розсіяння світла		2	6
4	Параметричне підвищення частоти оптичного випромінювання		2	6
5	Самофокусування лазерних пучків		3	7
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>44</b>	<b>14</b>	<b>121</b>

**Загальний обсяг 90 год.** в тому числі:

Лекцій – 44 год.

Консультації – 1 год.

Лабораторні роботи – 14 год.

Самостійна робота - 121 год.

## 9. Рекомендована література:

### Основна:

1. Robert W. Boyd. Nonlinear Optics. 4<sup>th</sup> edit., Academic Press, 2020, 627p.
2. В.Е.А. Saleh & М.С. Teich. Fundamentals of photonics, 3<sup>rd</sup> edit., Wiley, 2019, 2751 p..
3. М. Bass, С. DeCusatis, J. Enoch et al. Handbook of Optics, 3<sup>rd</sup> 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:

1. V. Dmitriev, G. Gurzadyan, D. Nikogosyan. Handbook of nonlinear Optical Crystals, Springer, 2014, 224 p.

2. R.Menzel. Photonics. Linear and Nonlinear Interactions of Laser Light and Matter. 2<sup>nd</sup> edit., Springer, 2007, 1041p.
3. ДСТУ EN 60825-1:2019 Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги (EN 60825-1:2014, IDT ; IEC 60825-1:2014, IDT).