

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана  
з навчальної роботи  
Момот О.В.

« 23 » березня 2025 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Фізика лазерів

для студентів

галузь знань	Е Природничі науки, математика та статистика
спеціальність	Е5 Фізика та астрономія
освітній рівень	магістр
освітня програма	Оптика, лазерна фізика
вид дисципліни	обов'язкова

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2025/2026
Навчальний семестр	I
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** - отримання теоретичних знань, необхідних для розуміння фізичних процесів, що лежать в основі функціонування лазерів, формування характеристик їх випромінювання і контролю його параметрів; набуття практичних навиків налаштування лазерів, вимірювання та контролю параметрів лазерного випромінювання.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

2.1. Володіти знаннями основних явищ фізичної оптики: інтерференції, дифракції, поляризації, дисперсії, люмінесценції.

2.2. Володіти знаннями з атомної фізики, квантової механіки та електродинаміки: рівняння Максвелла і Шредінгера, ймовірності переходів, квантово-механічний осцилятор, систематика енергетичних рівнів.

2.3. Володіти базовими знаннями із спецкурсу «Техніка оптичної спектроскопії» та мати навик роботи із основними оптичними приладами: зоровою трубою, коліматором, інтерферометром, спектрографом.

2.4. Мати навик роботи із спеціалізованими пакетами обробки фізичної інформації «Origin» або «Mathcard».

**3. Анотація навчальної дисципліни.**

В рамках спецкурсу розглядаються фізичні процеси та методи створення інверсії в активних середовищах, принципи формування лазерного випромінювання в резонаторі, вплив активного середовища, резонатора та режиму роботи лазера на характеристики лазерного випромінювання.

Програма навчальної дисципліни складається з трьох розділів (тем):

Тема 1. Принципи оптичного підсилення та генерації.

Тема 2. Формування випромінювання в оптичних резонаторах.

Тема 3. Активні середовища та методи їх накачування.

Теми діляться на два змістовних модулі:

- модуль 1 - теми 1 і 2

- модуль 2 - тема 3

Методи викладання: лекції, практичні заняття. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, реферати, контроль за виконанням самостійних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок модульного контролю (40%) та іспиту (60%).

**4. Завдання (навчальні цілі):** вивчення фізичних процесів, що лежать в основі формування випромінювання лазерної генерації, методів впливу на його параметри (монохроматичність, спрямованість тощо), механізмів утворення інверсії в різних типах активних середовищ, а також взаємозв'язок властивостей і параметрів лазерного випромінювання з можливостями

вимірювання фізичних та геометричних величин, детектування об'єктів, створення еталонів та реперів.

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

#### Загальні компетентності

- ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК07. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

#### Спеціальні (фахові) компетентності

- СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії
- СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.
- 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)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
код	Результати навчання			
1.1	Знати принципи і умови підсилення та генерації світла.	лекції	Модульна контр. робота, реферат	15%
1.2	Знати фізичні явища, що впливають на формування випромінювання в оптичному резонаторі.	лекції	Модульна контр. робота, реферат	20%
1.3	Знати методи створення інверсії і їх взаємозв'язок із активними середовищами.	лекції	Модульна контр. робота, реферат	15%
1.4	Знати типи і режими роботи лазерів та параметри їх випромінювання.	лекції	Модульна контр. робота, реферат	15%
2.1	Вміти розраховувати оптимальні умови фокусування і перетворення лазерних пучків.	Практичні заняття, самостійна робота	Реферат, опитування	10%
2.2	Вміти обирати оптимальні методи та проводити селекцію мод лазера.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	5%
2.3	Вміти обирати методи вимірювання та вимірювати основні параметри лазерного випромінювання.	Практичні заняття, самостійна робота	Реферат, опитування	10%
4.1	Самостійно вибирати лазер з оптимальними параметрами для вирішення конкретних практичних завдань.	Практичні заняття, Самостійна робота	опитування	5%
4.2	Знати основи безпечної роботи із лазерами.	Практичні заняття, Самостійна робота	опитування	5%

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)**

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	4.1	4.2
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>									
ПР01. 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.	+	+	+	+	+	+		+	+
ПР05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.	+	+	+						
ПР11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.	+	+	+		+	+			
ПР17. Знати і розуміти фізичні основи функціонування оптичних пристроїв та систем.	+	+	+	+	+	+	+	+	+

**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 реферат (6 балів – 10 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (6 балів – 10 балів) і реферат (6 балів – 10 балів).

*Примітка: Форма семестрового оцінювання може змінюватись в залежності від безпекової ситуації, зокрема МКР може бути замінена або доповнена самостійним опрацюванням лекцій, що не відбулися із-за тривоги чи відсутності світла і написанням відповідних конспектів по наданих відеозаписах.*

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

за курс.

	Модуль 1		Модуль 2		Екзам	Підс. оцінка
	Контр. роб. 1	Реф. 1	Контр. роб. 2	Реф. 2		
Мінім	6	6	6	6	36	60
Макс.	10	10	10	10	60	100

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

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

**7.3. Шкала відповідності оцінок**

Відмінно/Excelent	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	Назва лекцій	Кількість годин		
		лекції	Практичн і заняття	С/Р
<i>Змістовий модуль 1.</i>				
<b>Тема1. Принципи оптичного підсилення та генерації.</b>				
1	Вступ. Елементарні процеси взаємодії випромінювання з атомом. Коефіцієнти Ейнштейна. Умова підсилення, та принципова схема лазера.	2		4
2	Характеристики енергетичних рівнів та переходів між ними, зв'язок їх із спектроскопічними характеристиками середовищ.	2		4
3	Коефіцієнт підсилення дворівневої системи та його властивості. Насичення підсилення.	2		4
4	Самозбудження та встановлення генерації лазера. Лазер як автоколивна система. Функції складових елементів лазера.	2		4
<b>Тема 2. Формування випромінювання в оптичних резонаторах</b>				
5	Оптичні резонатори і їх особливості. Добротність оптичних резонаторів.	2		4
6	Оптичні резонатори як граничний варіант закритого резонатора. Теорія Шавлова-Таунса і спектр випромінювання плоско-паралельного резонатора.	2		4
7	Принципи дифракційної теорії формування випромінювання в оптичних резонаторах та застосування її до розрахунків поля на дзеркалах плоско-паралельного резонатора.	2		4
8	Формування випромінювання в конфокальному резонаторі. Моді і спектр конфокального резонатора.	2		4
9	Просторовий розподіл поля та спрямованість пучка випромінювання конфокального резонатора. Фокусування лазерних пучків.	2		4
10	Узагальнений сферичний резонатор та діаграма стійкості резонаторів. Особливості випромінювання нестійких резонаторів.	2		4
11	Селекція поперечних та поздовжніх мод оптичного резонатора.	2		4
12	Оптичні резонатори і лазери спеціальних	2		4

	конструкцій. Дисперсійні та кільцеві резонатори, їх особливості та застосування. Розподілений зворотній зв'язок. Волоконні та хвилеводні лазери.			
	Модульна контрольна робота 1.		X	
<b>Змістовий модуль 2.</b>				
<b>Тема 3. Активні середовища та методи їх накачування.</b>				
13	Залежність методів накачування від типу активного середовища. Оптичне накачування і його схеми. Активні середовища на діелектричних домішкових кристалах. Твердотільні лазери.	2		4
14	Вплив електрон-фононої взаємодії на утворення інверсії і спектральні в домішкових кристалах. Методи підвищення ефективності їх оптичного накачування.	2		4
15	Утворення інверсії на електронно-коливних переходах. Лазери на вібронних кристалах і органічних барвниках.	2		4
16	Елементарні процеси та утворення інверсії в плазмі газового розряду. Конструкція газорозрядних активних елементів.	2		4
17	Умови утворення інверсії в газорозрядній плазмі. Газорозрядні лазери на нейтральних атомах та іонах.	2		4
18	Утворення інверсії в молекулярних газах. Молекулярні лазери УФ та ІЧ діапазону та їх типи.	2		4
19	Умова утворення інверсії в напівпровідниках. Метод інжекції нерівноважних носіїв. Інжекційні напівпровідникові лазери (лазерні діоди) і їх параметри.	2		4
20	Напівпровідникові лазери з гетеропереходами. Лазерні лінійки та матриці.	2		4
21	Балансні рівняння лазера. Рівняння Статца де Марса. Режими роботи лазерів. Вільна генерація.	2		4
22	Режим модуляції добротності резонатора і методи його реалізації.	2		4
	Модульна контрольна робота 2.		X	
<b>Змістовий модуль 3.</b>				
<b>Теми практичних занять</b>				
1	Властивості гаусових пучків. Комплексний параметр гаусового пучка і його перетворення в оптичних елементах.		2	4
2	Матричний метод розрахунку параметрів		2	4

	випромінювання оптичних резонаторів.			
3	Енергетичні, часові і спектральні характеристики різних типів лазерів та області їх застосування.		2	4
4	Термічні технології. Технологічні лазери, їх основні складові та вимоги до них. Лазери, що застосовуються в термічних технологіях.		2	4
5	Лазери з монохроматичним випромінюванням. Стабілізація частоти випромінювання, лазерні стандарти частоти. Лазери з переналаштуванням довжини хвилі генерації.		1	4
6	Властивості та параметри лазерного випромінювання. Методи визначення спектральних, енергетичних, часових та просторових параметрів лазерного випромінювання.		2	4
7	Принципи використання лазерів для вимірювання фізичних та геометричних величин, детектування об'єктів, створення еталонів та реперів. Лазерні прилади (лідари, гіроскопи, технологічні лазери тощо).		2	5
8	Взаємодія лазерного випромінювання з біологічними об'єктами та застосування в медицині. Критерії безпеки лазерного випромінювання та класифікація лазерів.		2	4
	Модульна контрольна робота 3.		X	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>44</b>	<b>15</b>	<b>121</b>

Загальний обсяг **180 год.**, в тому числі:

Лекцій – **44 год.**

Практичні заняття – **15 год.**

Самостійна робота – **121 год.**

## Рекомендована література

1. Karl F. Renk. Basics of Laser Physics, 2-d edit. – Springer, 2017, 676 p.
2. H. J. Eicher, J. Eicher, O. Lux. Lasers. Basics, Advances and Applications. Springer, 2018, 511p .
3. K.Thyagarajan, A. Ghatak. Lasers. Fundamentals & applications, 2-d edit. – Springer, 2011, 659 p.
4. O. Svelto. Principles of lasers, 5-th edit. – Springer, 2010, 625 p.
5. B.E.A. Saleh & M.C. Teich. Fundamentals of photonics, 3d edit., J.Willey, 2019, 2751 p.
6. В.П.Гаращук. Основи фізики лазерів. – К., В-во «Пульсари», 2012, 342с.
7. В.П.Ящук. Вибрані питання фізики лазерів. -К., 2017, 72с.
8. О.О.Птащенко. Основи квантової електроніки. – Одеса, Астропрінт, 2010, 390с.

### **Додаткова література**

9. Anil K. Maini. Lasers and optoelectronics. Fundamentals, Devices and Applications. J.Wiley, 2013, 637 p.
10. ДСТУ EN 60825-1:2019 Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги (EN 60825-1:2014, IDT ; IEC 60825-1:2014, IDT).
11. ДСТУ EN ISO 11554:2019 Оптика та оптичні прилади. Лазери та лазерна апаратура. Методи випробування потужності, енергії та часових характеристик лазерного пучка (EN ISO 11554:2017, IDT; ISO 11554:2017, IDT)