

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики



« 31 »

2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика лазерів

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки
спеціальність 104 Фізика та астрономія
освітній рівень магістр
освітня програма Оптика, лазерна фізика
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2023/2024
Навчальний семестр	I
Кількість кредитів ECTS	6
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач(і): доцент Ящук Василь Павлович

Пролоноговано: на 2024/2025 н.р. (*В. Ящук*) «30» 09 2024 р.
на 20__/20__ н.р. (_____) «__» __ 20__ р.
на 20__/20__ н.р. (_____) «__» __ 20__ р.

КИЇВ – 2023

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

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

В.о. зав. кафедри оптики



(прізвище)

(Кондратенко С.В.)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від « 16 » червня 2023 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від « 30 » червня 2023 року № 16

Голова науково-методичної комісії



(прізвище)

(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 навички роботи із основними оптичними приладами: зоровою трубою, коліматором, інтерферометром, спектрографом.

2.4. Мати навички 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 чотирьох розділів (тем):

Тема 1. Принципи оптичного підсилення та генерації (лекції).

Тема 2. Формування випромінювання в оптичних резонаторах.

Тема 3. Активні середовища та методи їх накачування.

Тема 4. Типи лазерів, характеристики їх випромінювання та застосування.

Теми діляться на три змістовних модулі:

- модуль 1 - теми 1 і 2
- модуль 2 - тема 3
- модуль 3 - тема 4.

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 (45%) та іспиту (55%).

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 опанувати 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.
- СК10. Вміти використовувати методи чисельних та аналітичних розрахунків в оптиці.

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

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

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.	Лекції, 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.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	10%
4.1	Самостійно вибирати лазер з оптимальними параметрами для вирішення конкретних практичних завдань.	Самостійна робота	опитування	5%
4.2	Знати основи безпечної роботи із лазерами.	Самостійна робота	опитування	5%

Результати навчання дисципліни (код) Програмні результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	4.1	4.2
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 реферат (3 балів – 5 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (6 балів – 10 балів) і реферат (3 балів – 5 балів).
3. Модульна контрольна робота 3 (6 балів – 10 балів) і реферат (3 балів – 5 балів).

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

за курс.

	Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3		Екзам	Підс. оцінка
	Контр. роб. 1	Реф. 1	Контр. роб. 2	Реф. 2	Контр. роб. 2	Реф. 2		
Мінім	6	3	6	3	6	3	33	60
Макс.	10	5	10	5	10	5	55	100

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав **менше 27 балів**. Оцінка за іспит не може бути **меншою 33 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	лабораторні роботи	С/Р
<i>Змістовий модуль 1.</i>				
Тема1. Принципи оптичного підсилення та генерації.				
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 випромінювання лазера. Лазер як автоколивна система. Функції складових елементів лазера.	2		4
Тема 2. Формування випромінювання в оптичних резонаторах				
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 спеціальних конструкцій.	2		4

	Дисперсійні та кільцеві резонатори, їх особливості та застосування. Розподілений зворотній зв'язок.			
	Модульна контрольна робота 1.		X	
Змістовий модуль 2.				
Тема 3. Активні середовища та методи їх накачування.				
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 в домішкових кристалах. Методи підвищення ефективності їх оптичного накачування.	2		4
15	Утворення інверсії на електронно-коливних переходах. Лазери на органічних барвниках, вібронних кристалах та F-центрах.	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, парі металів та іонах.	2		4
18	Утворення інверсії в молекулярних газах. Молекулярні лазери УФ та ІЧ діапазону.	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 зі складними р/п профілями (гетеролазери). Лазерні лінійки та матриці.	2		4
21	Балансні рівняння лазера. Рівняння Статца де Марса. Режим роботи лазерів. Вільна генерація.	2		4
22	Режим модуляції добротності резонатора і методи його реалізації.	2		4
	Модульна контрольна робота 2.		X	
Змістовий модуль 3.				
Теми практичних занять				
1	Властивості гаусових пучків. Комплексний параметр гаусового пучка і його перетворення в оптичних елементах.		2	4
2	Матричний метод розрахунку параметрів випромінювання оптичних резонаторів.		2	4

3	Енергетичні, часові і спектральні характеристики різних типів лазерів та області їх застосування.		2	4
4	Технологічні лазери та термічні технології. Оптиковолоконні та хвилеводні лазери.		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	
	ВСЬОГО	44	15	121

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)