

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Лазерна техніка та прикладна квантова електроніка

для студентів

галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
спеціальність	152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
освітній рівень	магістр
освітня програма	Лазерна та оптоелектронна техніка
вид дисципліни	обов'язкова


Форма навчання	очна
Навчальний рік	2022/2023
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 – 2022


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

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри  Поперенко Л.В.
_____ (_____)
(підпис) (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  (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни - отримання теоретичних знань, необхідних для розуміння взаємозв'язку характеристик випромінювання лазера та його конструкції з фізичними процесами, що протікають в ньому; набуття практичних навиків налаштування лазерів 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 чотирьох розділів (тем):

Тема 1. Принципи оптичного підсилення та генерації.

Тема 2. Оптичні резонатори.

Тема 3. Типи лазерів та методи їх накачування.

Тема 4. Режими роботи лазерів.

Тема 5. Характеристики лазерного випромінювання та застосування лазерів.

Теми діляться на три змістовних модулі:

- модуль 1 - теми 1 і 2
- модуль 2 - теми 3
- модуль 3 - теми 4 і 5.

Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, консультації. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, реферати, контроль за виконанням лабораторних робіт, залік за виконання лабораторних 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

- ЗК04. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- ЗК05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності

- ФК07. Здатність застосовувати комплексний підхід до вирішення експериментальних завдань із застосуванням засобів інформаційно-вимірювальної техніки та прикладного програмного забезпечення.
- ФК08. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для створення віртуальних засобів вимірювання та інформаційно-вимірювальної техніки.
- ФК14. Здатність оцінювати ефективність рішень в сфері метрології та метрологічного забезпечення з використанням комп'ютерного моделювання.
- 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)		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	20%
1.4	Знати режими роботи лазерів і параметри їх випромінювання.	лекції	Модульна контр. робота, реферат	10%
2.1	Вміти розраховувати і вибирати оптимальні умови фокусування і перетворення лазерних пучків.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	10%
2.2	Вміти обирати оптимальні методи та умови селекції поздовжніх та поперечних мод лазера.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	5%
2.3	Вміти обирати оптимальний метод юстування газових і твердотільних лазерів.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	10%
2.4	Вміти обирати методи вимірювання та вимірювати основні параметри лазерного випромінювання.	Лекції, самостійна робота	Реферат, опитування	5%
4.1	Самостійно вибирати лазер з оптимальними параметрами для вирішення конкретних практичних завдань.	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	2.4	4.1
Програмні результати навчання (назва)									
ПР08. Володіти сучасними методами та методиками проектування і дослідження, а також аналізу отриманих результатів.		+	+	+	+	+		+	+
ПР013. 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.	+	+	+	+	+	+			+

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>				
Тема 1. Принципи оптичного підсилення та генерації.				
1	Вступ. Елементарні процеси взаємодії випромінювання з атомом. Принципова схема та характеристики випромінювання лазера.	2		3
2	Основні характеристики енергетичних рівнів та переходів між ними.	2		4
3	Коефіцієнт підсилення дворівневої системи та його властивості. Насичення підсилення.	2		4
4	Лазер як автоколивна система. Функції складових елементів лазера.	2	2	4
Тема 2. Оптичні резонатори				
5	Оптичні резонатори як граничний варіант закритого резонатора. Теорія Шавлова-Таунса.	2		4
6	Хвильова теорія формування випромінювання в оптичних резонаторах.	2		4
7	Формування випромінювання в конфокальному резонаторі. Моді і спектр конфокального резонатора.	2	2	4
8	Просторовий розподіл та спрямованість пучка випромінювання конфокального резонатора. Фокусування лазерних пучків.	2	4	4
9	Узагальнений сферичний резонатор та діаграма стійкості резонаторів. Особливості випромінювання нестійких резонаторів.	2		4
10	Матричний метод розрахунку параметрів випромінювання оптичних резонаторів.	2		4
11	Керування спектром та діаграмою спрямованості випромінювання лазерів за допомогою селекції мод та дисперсійних елементів в резонаторі.	2	4	4
	Модульна контрольна робота 1.		X	
<i>Змістовий модуль 2.</i>				
Тема 3. Типи лазерів та методи їх накачування.				
12	Методи накачування і залежність їх від активного середовища. Оптичне накачування. Схеми	2	2	4

	накачування та їх вплив на параметри лазерів.			
13	Твердотільні лазери на діелектричних домішкових кристалах.	2		4
14	Методи підвищення ефективності оптичного накачування.	2		4
15	Утворення інверсії на електронно-коливних переходах. Лазери на органічних барвниках, вібронних кристалах центрах забарвлення.	2		4
16	Елементарні процеси та утворення інверсії в плазмі газового розряду. Конструкція газорозрядних активних елементів.	2	2	4
17	Умови утворення інверсії в газорозрядній плазмі. Газорозрядні лазери на нейтральних атомах, іонах та парі металів.	2	4	4
18	Утворення інверсії в молекулярних газах. Молекулярні лазери УФ та ІЧ діапазону.	2		4
19	Метод інжекції нерівноважних носіїв в область р/п переходу. Лазерні діоди.	2		4
20	Інжекційні напівпровідникові лазери.	2		4
21	Напівпровідникові лазери зі складними р/п переходами.	2		4
	Модульна контрольна робота 2.		X	
Змістовий модуль 3.				
Тема 4. Режими роботи лазерів.				
22	Балансові рівняння лазера. Режим вільної генерації лазера і параметри випромінювання.	2	2	4
23	Режим модуляції добротності резонатора. Методи модуляції добротності резонатора.	2	4	4
24	Режим синхронізації мод резонатора та методи його реалізації. Параметри лазерного випромінювання в режимі синхронізації мод.	2		4
25	Гранично короткі лазерні імпульси та умови їх отримання. Формування та компресія чірпованих імпульсів. Фемтосекундні лазери.	2		4
Тема 5. Характеристики лазерного випромінювання та застосування лазерів.				
26	Унікальні особливості, характеристики та параметри лазерного випромінювання. Методи визначення параметрів лазерного випромінювання (спектральних, енергетичних, часових, просторових, поляризаційних).	2	4	4
27	Принципи метрологічного використання лазерів для вимірювання фізичних та геометричних величин,	2		4

	детектування об'єктів, створення еталонів та реперів.			
28	Застосування лазерів в наукових дослідженнях, техніці, технологіях та діагностиці матеріалів. Лазерні прилади (лідари, гіроскопи, технологічні лазери тощо). Лазерний стандарт частоти.	2		4
29	Застосування лазерів в побуті та військовій справі та фізичні принципи на яких воно ґрунтується	2		4
30	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	60	30	119

Загальний обсяг **210 год.**, в тому числі:

Лекцій – **60 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття **30 год.**

Консультації – **1 год.**

Самостійна робота – **119 год.**

Лабораторні роботи

- 1. Юстування резонатора рубінового лазера. (4 год.)** Зміст: Практично засвоїти методи юстування плоскопаралельних резонаторів твердотільних лазерів – оптичного важеля (допоміжного лазера) та автоколімаційний (трьох хрестів). Проаналізувати фактори, що впливають на точність юстування.
- 2. Спектр генерації та селекція поздовжніх мод рубінового лазера. (4 год.)** Зміст: Зареєструвати спектр генерації рубінового лазера в залежності від енергії накачування та наявності дисперсійних елементів (стопи) в резонаторі і їх орієнтації. Визначити спектральні інтервали між модами випромінювання. Оцінити спектральну ширину лазерних мод. Юстуванням стопи досягнути режиму одномодової генерації.
- 3. Юстування резонатора He-Ne лазера. (3 год.)** Зміст: Практично засвоїти методи юстування сферичних резонаторів газових лазерів – методи хрестів та зорової труби. Проаналізувати фактори, що впливають на точність юстування.
- 4. Поперечні моди та генераційні характеристики He-Ne лазера. (4 год.)** Зміст: Зареєструвати та проаналізувати поперечний розподіл інтенсивності випромінювання поперечних мод сферичного резонатора. По розподілу інтенсивності встановити тип поперечної моди. Зареєструвати генераційні

характеристики He-Ne лазера та визначити діаметр і кут розбіжності його пучка.

5. **Динаміка випромінювання неодимового лазера в режимах вільної генерації та модуляції добротності. (4 год.)** Зміст: Вивчити часові залежності інтенсивності випромінювання твердотілого лазера в режимах вільної генерації і модуляції добротності резонатора. Отримати експериментальні залежності тривалості, потужності, енергії і кількості лазерних імпульсів від енергії накачування в обох режимах і провести порівняння цих параметрів.
6. **Генераційні характеристики рубінового лазера. (3 год.)** Зміст: Виміряти основні генераційні характеристики рубінового лазера – залежність енергії генерації від енергії оптичного накачування та кута роз'юстування резонатора. Визначити величину допустимого роз'юстування резонатора.
7. **Перетворення та фокусування лазерного пучка лінзою. (4 год.)** Зміст: Визначити експериментально розподіл випромінювання основної моди He-Ne лазера в просторі при перетворенні лазерного пучка лінзою і на основі цього визначити розміри області фокусування та середню інтенсивність випромінювання в ній. Порівняти отримані результати з теоретичними.
8. **Переналадження довжини хвилі генерації лазера на органічному барвнику з дисперсійним резонатором. (4 год.)** Зміст: Ознайомитися з принципами роботи лазерів на органічних барвниках та переналадження довжини хвилі генерації в дисперсійних резонаторах. Зареєструвати криву переналадження хвилі генерації, визначити та порівняти ширину спектра генерації в дисперсійному та звичайному резонаторі.

Рекомендована література

1. Karl F. Renk. Basics of Laser Physics, 2-d edit. – Springer, 2017, 676 p.
2. K.Thyagarajan, A. Ghatak. Lasers. Fundamentals & applications, 2-d edit. – Springer, 2011, 659 p.
3. O. Svelto. Principles of lasers, 5-th edit. – Springer, 2010, 625 p.
4. B.E.A. Saleh & M.C. Teich. Fundamentals of photonics, 3d edit., J.Willey, 2019, 2751 p.
5. В.П.Гаращук. Основи фізики лазерів. – К., В-во «Пульсари», 2012, 342с.
6. В.П.Ящук. Вибрані питання фізики лазерів. – К., 2017, 72с.
7. О.О.Птащенко. Основи квантової електроніки. – Одеса, Астропрінт, 2010, 390с.
8. Р.В.Трембовецька, В.Я.Гальченко, В.В. Тичков, М.О.Бондаренко. Проектування та метрологічне забезпечення оптичних та оптико-електронних приладів. - Черкаси, ЧДТУ, 2020, 235с.

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)