



## Фізика лазерів

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізитивна навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна), змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, 6й семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитів 120 годин (36г. – лекції, 18г. – практичні, 18г. - лабораторні)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік Модульна контрольна робота в два етапи, РГР</i>
Розклад занять	<i>Лекції, лабораторні та практичні заняття відбуваються згідно розкладу Rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н, доцент, Кагляк Олексій Дмитрович, 0682229967. <a href="mailto:Kaglyak.olexa@gmail.com">Kaglyak.olexa@gmail.com</a> Практичні: к.т.н, доцент, Кагляк Олексій Дмитрович, 0682229967. <a href="mailto:Kaglyak.olexa@gmail.com">Kaglyak.olexa@gmail.com</a> Лабораторні: к.т.н, доцент, Кагляк Олексій Дмитрович, 0682229967. <a href="mailto:Kaglyak.olexa@gmail.com">Kaglyak.olexa@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс <a href="https://classroom.google.com/c/MTEyNDE5NjM1NTk2?cjc=6bt4cpo">https://classroom.google.com/c/MTEyNDE5NjM1NTk2?cjc=6bt4cpo</a></i>

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна “Фізика лазерів” вивчає природу світлового випромінювання, особливості вимушеного випромінювання, процеси генерації лазерного випромінювання в резонаторі та залежність параметрів лазерного випромінювання від геометричних характеристик резонатора, закони поширення лазерного випромінювання в просторі, його фокусування та перетворення.

Об’єм курсу складає 120 годин (4 кредити), з яких 72 годин - аудиторні заняття (лекційні 36, практичних 18 та лабораторних 18) і 48 годин відводиться на самостійну роботу студента, а його вивчення завершується складанням заліку. Курс супроводжується текстовим матеріалом і презентаціями.

Мета вивчення дисципліни: засвоєння студентами способів та методики визначення геометричних параметрів лазерного резонатора; визначення потужності лазера певного типу за заданими параметрами; визначення резонаторів на стійкість; визначення характеристик лазерних пучків сформованих в стійких та нестійких резонаторах; визначення розподілу інтенсивності в перерізі лазерного пучка.

Предметом вивчення дисципліни є фізичні процеси лазерної генерації різних типів лазерів, залежність параметрів генерованого лазерного променя з умовами збудження активного середовища та характеристиками резонатора.

### **Програмні компетентності:**

ФК 1 Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК 12 Здатність оцінювати та контролювати параметри концентрованих джерел енергії під час генерації та при взаємодії випромінювання з речовинами та розробляти рішення для забезпечення їх стабільності.

ФК14 Здатність проектувати сучасне технологічне обладнання і оснащення для зварювання, лазерних та споріднених технологій.

### **Програмні результати навчання:**

РН 9 Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

РН 19 Розраховувати, оцінювати та вимірювати енергетичні, часові та просторові параметри впливу лазерного випромінювання та концентрованих потоків енергії на речовину для здійснення технологічних операцій.

РН 23 Оптимально обирати, застосовувати, компонувати і перевіряти технічний стан та ресурс технологічного обладнання для лазерних та фізико-технічних технологій

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: Загальна фізика (квантова механіка); Вища математика, Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною.

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, використовуються при проходженні переддипломної практики та при виконанні дипломного проектування.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. ВСТУП**

Тема 1.1: Застосування світла, як джерела тепла, для термічних технологій. Світлопроменеве зварювання.

Світлопроменева технологічна установка; принципова оптична схема.

Залежність швидкості нагрівання від конструктивних параметрів оптичної системи світлопроменевої технологічної установки. Вимоги до джерел світла в світлопроменевих технологічних установках.

### **Розділ 2 ЗАКОНИ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПОСТУЛАТИ ЕЙНШТЕЙНА – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ СВІТЛА.**

Тема 2.1. Закони теплового випромінювання.

Фізичні явища, при яких виникає світло.

Закони теплового випромінювання

Теплове випромінювання і правило Прево.

Закон Кірхгофа.

Закон Стефана –Больцмана.

Закон зміщення Віна.

Формула випромінювання Планка.

Тема 2.2. Постулати Ейнштейна – фізичні основи лазерної генерації світла.

Постулати Ейнштейна.

Спектральні коефіцієнти Ейнштейна. Контур лінії поглинання (випромінювання). Ширина лінії.

Механізм лазерної генерації світла.

### **Розділ 3. ПОТУЖНІСТЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМІННЯ**

Тема 3.1. Фізичні явища, що створюють умови генерації лазерного проміння.

Інтенсивність світлового потоку.

Закон Ламберта – Бугера – Бера.

Потужність поглинання, коефіцієнти поглинання і підсилення.

Процеси заселення атомних (молекулярних) рівнів.

Оптична накачка.

Оптичне збудження лазерного середовища. 3-х і 4-х рівневі схеми генерації.

Принципова схема лазера з оптичною накачкою.

Збудження електронним ударом.

Передача збудження при міжатомних (міжмолекулярних) зіткненнях.

Розселення рівнів

Спонтанні переходи.

Релаксаційні переходи.

Підсилення світлового пучка при його проходженні в збудженому активному середовищі.

Коефіцієнт підсилення слабого сигналу світлового пучка.

Коефіцієнт підсилення пучка при його проходженні в збудженому активному середовищі, інтенсивність насичення.

Тема 3.2. Потужність лазерного проміння.

Потужність лазерного проміння.

Баланс потужності при стаціонарній генерації.

Потужність, яка генерується активним середовищем.

Потужність шкідливих втрат.

Потужність лазерного проміння.

Розрахунок  $\bar{k}$  для стрижня з плоскопаралельними дзеркальними торцями.

Залежність потужності лазерного проміння від  $k_0$  і  $k_1$ .

Питома потужність генерації лазерного проміння. ККД лазерної генерації. Добротність лазерного резонатора.

## РОЗДІЛ 4. ТЕОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ПУЧКІВ.

Тема 4.1. Інтерференція і дифракція світла. формування лазерного пучка в резонаторі.

Інтерференція світла

Світлова хвиля. Додавання коливань. Когерентність і інтерференція коливань.

Додавання коливань. Інтерференція хвиль.

Створення когерентних хвиль в оптиці.

Часова когерентність.

Дифракція світла.

Принцип Гюйгенса – Френеля.

Застосування принципу Гюйгенса – Френеля.

Зони Френеля. Прямолінійне поширення світла.

Просторова когерентність.

Формування лазерного пучка в резонаторі.

Стійкі і нестійкі резонатори. Умова стійкості.

Тема 4.2. Властивості лазерного пучка, сформованого в стійкому резонаторі.

Гаусівський пучок, його параметри і властивості.

Зміна параметрів гаусівського пучка при поширенні в просторі.

Параметри гаусівського пучка, сформованого в стійкому резонаторі.

Комплексний параметр гаусівського пучка і його властивості.

Залежність параметрів гаусівського пучка від геометричних параметрів стійкого резонатора, в якому він формується.

Типи коливань високих порядків.

Фокусування лазерного пучка, сформованого в стійкому резонаторі.

Тема 4.3. Властивості лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.

Хід променів у нестійкому резонаторі.

Методи виведення генерованого лазерного пучка із нестійкого резонатора.

Зміна параметрів лазерного пучка нестійкого резонатора при поширенні в просторі.

Зона генерації і зона підсилення.

Коефіцієнт радіаційних втрат в нестійкому резонаторі

Фокусування лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.

Положення горловини сфокусованого пучка.

Дифракція Фраунгофера.

Дифракція Фраунгофер при виході лазерного пучка із нестійкого резонатора.

Розподіл інтенсивності в мінімальному перерізі сфокусованого пучка; мінімальний розмір сфокусованого пучка.

Розбіжність лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.

Тема 4.4. Порівняння параметрів сфокусованих

лазерних пучків, сформованих у стійкому і нестійкому резонаторах.

Відношення величин густини потужності на осі сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК ТЕМ<sub>00</sub>) і нестійкому резонаторах.

Відношення середніх значень густини потужності в горловині сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК ТЕМ<sub>00</sub>) і нестійкому резонаторах.

Відношення середніх значень густини потужності в горловині сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК ТЕМ<sub>nm</sub>) і нестійкому резонаторах.

Вплив конструктивних параметрів СР і НР на розбіжність лазерного пучка і його потужність.

Тема 4.5. Передача світлового пучка по світловолокну.

Будова світловолокна. Хід світлового пучка по світловолокну.

Граничний кут збіжності сфокусованого пучка при введенні його в світловод.

Оптичні схеми лазерних технологічних установок з передачею проміння за допомогою світловолокна.

Розрахунок оптичної системи пристроїв вводу лазерного проміння в світловолокну, виводу із нього, і фокусування на оброблювану деталь.

Тема 4.6. Узагальнені характеристики лазерного пучка.

Стала перетворення пучка і показник якості пучка. Глибина чіткості.

До якої максимальної температури можна нагріти абсолютно чорне тіло лазерним промінням.

## РОЗДІЛ 5. СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕР.

Тема 5.1. Фізичні явища і фізико-технічні засоби збудження активного середовища СО<sub>2</sub>-лазера.

Структура коливних рівнів молекул СО<sub>2</sub> і азоту.

Процеси збудження і розселення коливних рівнів молекули СО<sub>2</sub>

Населеності лазерних рівнів молекули СО<sub>2</sub> під час генерації.

Тліючий розряд.

Залежність напруги на міжелектродному проміжку від відстані між електродами. Механізм протікання струму в тліючому розряді. Термічна нерівноважність плазми. Що обмежує поперечні розміри позитивного стовпа? Нормальна густина струму на катоді (аноді). Нестійкості тліючого розряду.

Тема 5.2. Лазери з теплопровідним охолодженням.

Залежність потужності генерації від геометричних параметрів теплопровідно охолоджуваного лазера.

Одноканальні і багатоканальні трубчаті СО<sub>2</sub> лазери: конструкція, параметри резонатора, геометричні характеристики лазерного пучка. Методи одержання когерентного проміння багатоканальних лазерів.

СО<sub>2</sub> лазер з теплопровідним охолодженням планарної конструкції: будова, параметри резонатора, геометричні характеристики лазерного пучка.

Тема 5.3. СО<sub>2</sub>-лазери з конвективним охолодженням.

Порівняльні енергетичні характеристики СО<sub>2</sub>-лазерів з теплопровідним і конвективним охолодженням. Наближений розрахунок потужності лазерного випромінювання СО<sub>2</sub>-лазера з конвективним охолодженням.

Резонатори лазерів з конвективним охолодженням. Лазери з осьовою та поперечною прокачкою; геометричні характеристики їх лазерних пучків.

Електродні системи в CO<sub>2</sub> – лазерах, як методи боротьби з нестійкостями тліючого розряду.

Блок – схема CO<sub>2</sub> лазера з конвективним охолодженням.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів. - К.: Пульсари 2012р. – 342с.
2. Гаращук В.П., О.Д. Кагляк, О.О. Гончарук. - Практичні основи фізики лазерів. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / – НТУУ «КПІ», 2015.– 116 с.
3. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів для термічних технологій. Навчальний посібник (електронний варіант). – Київ. 2010. – 344с.
4. Гаращук В.П. Фізика планарних CO<sub>2</sub> лазерів (електронний варіант). – Київ, 2010. – 99с.
5. Фізика лазерів [Електронний ресурс] : курс лекцій / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. Д. Кагляк. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,01 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 162 с.
6. Методичні вказівки з лабораторних робіт до вивчення дисципліни «Фізика лазерів» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. Д. Кагляк, О. О. Гончарук. – Електронні текстові дані (1 файл: 659 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 27 с.
7. Методичні вказівки до виконання домашніх контрольних робіт з дисципліни «Фізика лазерів» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. Д. Кагляк. – Електронні текстові дані (1 файл: 974 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 49 с.

Допоміжна література

1. Orazio Svelto Principles of Lasers fifth edition / Orazio Svelto / Springer Science+Business Media, LLC 2010. – 625p.
2. Биков В.П., Силичев О.О. Лазерні резонатори. – М.: Физматлит, 2004. - 320 с.
3. В.І.Григоруку, П.А.Коротков, А.І.Хижняк. “Лазерна фізика”. Київ, “Леся” 1999 р.
4. Einführung in die industrielle Lasermaterialbearbeitung. Rofin. 2002. – 144s.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука. 1976. – с. 926
6. Баранов І.Я., Коптев А.В., Модель розрахунку слабкого ВЧ-розряду середнього тиску з утворенням фотонів в шарі та фотоемісією електронів. Фізика плазми, 2007,т.33, №1, с.59...67.

Інформаційні ресурси

1. lft.kpi.ua (сайт кафедри ЛТ та ФТТ)
2. login.kpi.ua (сайт КАМПУС’у)
3. library.ntu-kpi.kiev.ua (сайт науково – технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

#### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

НАЗВА РОЗДІЛІВ І ТЕМ	Кількість годин			
	Всього	В тому числі		
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи
РОЗДІЛ 1.				
Тема 1.1: Застосування світла, як джерела тепла, для термічних технологій. Світлопроменеве зварювання.	5	2	2	1

РОЗДІЛ 2 ЗАКОНИ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПОСТУЛАТИ ЕЙНШТЕЙНА – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ СВІТЛА.					
Тема 2.1. Закони теплового випромінювання.	6	3		2	1
Тема 2.2. Постулати Ейнштейна – фізичні основи лазерної генерації світла.	7	3	2		2
РОЗДІЛ 3. ПОТУЖНІСТЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМІННЯ					
Тема 3.1. Фізичні явища, що створюють умови для генерації лазерного проміння.	7	3		2	2
Тема 3.2. Потужність лазерного проміння.	9	3	2	2	2
Модульна контрольна робота ч. 1	3	1			2
РОЗДІЛ 4. ТЕОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ПУЧКІВ.					
Тема 4.1. Інтерференція і дифракція світла. Формування лазерного пучка в резонаторі.	7	3	2		2
Тема 4.2. Властивості лазерного пучка, сформованого в стійкому резонаторі.	8	2	2	2	2
Тема 4.3. Властивості лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.	8	2	2	2	2
Тема 4.4. Порівняння параметрів сфокусованих лазерних пучків, сформованих у стійкому і нестійкому резонаторах.	4	1			3
Тема 4.5. Передача світлового пучка по світловолокну.	8	2	2	2	2
Тема 4.6. Узагальнені характеристики лазерного пучка.	3	2			1
Модульна контрольна робота ч.2	3	1			2
РОЗДІЛ 5. СО <sub>2</sub> -ЛАЗЕР.					
Тема 5.1. Фізичні явища і фізико-технічні засоби збудження активного середовища СО <sub>2</sub> -лазера. Гліючий розряд.	6	2		2	2
Тема 5.2. Лазери з теплопровідним охолодженням.	9	2	2	2	3
Тема 5.3. СО <sub>2</sub> -лазери з конвективним охолодженням.	9	2	2	2	3
Виконання РГР	10				10
Залік	8	2			6
ВСЬОГО	120	36	18	18	48

## ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

### РОЗДІЛ 1. ВСТУП

#### 1. Тема 1.1: Застосування світла, як джерела тепла, для термічних технологій. Світлопроменеве зварювання.

**Лекція 1.** Світлопроменева технологічна установка; принципова оптична схема. Швидкість нагрівання. Залежність швидкості нагрівання від конструктивних параметрів оптичної системи світлопроменевої технологічної установки.

Література: [1]

### РОЗДІЛ 2 ЗАКОНИ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПОСТУЛАТИ ЕЙНШТЕЙНА – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ СВІТЛА.

#### Тема 2.1. Закони теплового випромінювання.

**Лекція 2.** Фізичні явища, при яких виникає світло.

Закони теплового випромінювання: теплове випромінювання і правило Прево; закон Кірхгофа; закон Стефана –Больцмана; Закон зміщення Віна; формула випромінювання Планка.

Література: [1, 5]

#### Тема 2.2. Постулати Ейнштейна – фізичні основи лазерної генерації світла.

**Лекція 3.** Типи переходів в атомах і молекулах. Постулати Ейнштейна.

Спектральні коефіцієнти Ейнштейна. Контур лінії поглинання (випромінювання). Ширина лінії. Механізм лазерної генерації світла.

Література: [1, 3, 5]

### РОЗДІЛ 3. ПОТУЖНІСТЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМІННЯ

#### Тема 3.1. Фізичні явища, що створюють умови генерації лазерного проміння.

**Лекція 4.** Інтенсивність світлового потоку. Закон Ламберта – Бугера – Бера. Потужність поглинання, коефіцієнти поглинання і підсилення. Процеси заселення атомних (молекулярних) рівнів. Оптична накачка. Оптичне збудження лазерного середовища. 3-х і 4-х рівневі схеми генерації. Принципова схема лазера з оптичною накачкою. Збудження електронним ударом. Передача збудження при міжатомних (міжмолекулярних) зіткненнях. Розселення рівнів: спонтанні переходи; релаксаційні переходи.

Література: [1, 5]

#### Тема 3.2. Потужність лазерного проміння.

**Лекція 5.** Підсилення світлового пучка при його проходженні в збудженому активному середовищі: коефіцієнт підсилення слабого сигналу світлового пучка; діючий коефіцієнт підсилення пучка при його проходженні в збудженому активному середовищі, інтенсивність насичення. Потужність лазерного проміння: баланс потужності при стаціонарній генерації; потужність, яка генерується активним середовищем; потужність шкідливих втрат; потужність лазерного проміння. Розрахунок  $\bar{k}$  для стрижня з плоскопаралельними дзеркальними торцями. Залежність потужності лазерного проміння від  $k_0$  і  $k_r$ . Питома потужність генерації лазерного проміння. ККД лазерної генерації. Добротність лазерного резонатора.

Література: [1-5]

### РОЗДІЛ 4. ТЕОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ПУЧКІВ.

#### Тема 4.1. Інтерференція і дифракція світла. формування лазерного пучка в резонаторі.

**Лекція 6.** Інтерференція світла: Світлова хвиля. Додавання коливань. Когерентність і інтерференція коливань. Додавання коливань. Інтерференція хвиль. Створення когерентних хвиль в оптиці. Часова когерентність. Дифракція світла: Принцип Гюйгенса – Френеля. Застосування принципу Гюйгенса – Френеля. Зони Френеля. Прямолінійне поширення світла. Просторова

когерентність. Формування лазерного пучка в резонаторі. Стійкі і нестійкі резонатори. Умова стійкості.

Література: [1-5]

#### **Тема 4.2. Властивості лазерного пучка, сформованого в стійкому резонаторі.**

**Лекція 7.** Гаусівський пучок, його параметри і властивості. Зміна параметрів гаусівського пучка при поширенні в просторі. Кут розбіжності гаусівського пучка. Конфокальний параметр гаусівського пучка. Типи коливань високих порядків. Параметри гаусівського пучка, сформованого в стійкому резонаторі: комплексний параметр гаусівського пучка і його властивості; залежність параметрів гаусівського пучка від геометричних параметрів стійкого резонатора, в якому він формується.

Література: [1-5]

#### **Тема 4.3. Властивості лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.**

**Лекція 8.** Хід променів у нестійкому резонаторі (НР). Збільшення нестійкого резонатора. Методи виведення генерованого лазерного пучка із нестійкого резонатора. Зміна параметрів лазерного пучка нестійкого резонатора при поширенні в просторі. Коефіцієнт радіаційних втрат в нестійкому резонаторі. Фокусування лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі: положення горловини сфокусованого пучка.

Література: [1, 3, 5, 7]

**Лекція 9.** Дифракція Фраунгофера. Дифракція Фраунгофера при виході лазерного пучка із нестійкого резонатора. Розподіл інтенсивності в мінімальному перерізі сфокусованого пучка; мінімальний розмір сфокусованого пучка. Розбіжність лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.

Література: [1, 5]

#### **Тема 4.4. Порівняння параметрів сфокусованих лазерних пучків, сформованих у стійкому і нестійкому резонаторах.**

**Лекція 10.** Відношення величин густини потужності на осі сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК  $TEM_{00}$ ) і нестійкому резонаторах.

Відношення середніх значень густини потужності в горловині сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК  $TEM_{00}$ ) і нестійкому резонаторах.

Відношення середніх значень густини потужності в горловині сфокусованих лазерних пучків, сформованих в стійкому (ТК  $TEM_{nm}$ ) і нестійкому резонаторах.

Вплив конструктивних параметрів  $SR$  і  $HR$  на розбіжність лазерного пучка і його потужність.

Література: [1, 3, 5]

#### **Тема 4.5. Передача світлового пучка по світловолокну.**

**Лекція 11.** Будова світловолокна. Хід світлового пучка по світловолокну. Граничний кут збіжності сфокусованого пучка при введенні його в світловод. Оптичні схеми лазерних технологічних установок з передачею проміння за допомогою світловолокна.

Розрахунок оптичної системи пристроїв вводу лазерного проміння в світловолокну, виводу із нього, і фокусування на оброблювану деталь.

Література: [1, 2, 5]

#### **Тема 4.6. Узагальнені характеристики лазерного пучка.**

**Лекція 12.** Стала перетворення пучка і показник якості пучка. Глибина чіткості.

До якої максимальної температури можна нагріти абсолютно чорне тіло лазерним промінням.

Література: [1, 3]

### **РОЗДІЛ 5. $CO_2$ -ЛАЗЕР.**

#### **Тема 5.1. Фізичні явища і фізико-технічні засоби збудження активного середовища $CO_2$ -лазера.**

**Лекція 13.** Структура коливних рівнів молекул  $CO_2$  і азоту. Процеси збудження і розселення коливних рівнів молекули  $CO_2$ . Населеності лазерних рівнів молекули  $CO_2$  під час генерації.

Література: [1-5]



#### **Лекція 14.** Тліючий розряд.

Залежність напруги на міжелектродному проміжку від відстані між електродами. Механізм протікання струму в тліючому розряді. Термічна нерівноважність плазми. Що обмежує поперечні розміри позитивного стовпа? Нормальна густина струму на катоді (аноді). Нестійкості тліючого розряду.

Література: [1-3, 5]

#### **Тема 5.2. Лазери з теплопровідним охолодженням.**

**Лекція 15.** Залежність потужності генерації від геометричних параметрів теплопровідно охолоджуваного лазера.

Одноканальні і багатоканальні трубчаті CO<sub>2</sub> лазери: конструкція, параметри резонатора, геометричні характеристики лазерного пучка. Методи одержання когерентного проміння багатоканальних лазерів.

Література: [1, 2]

**Лекція 16.** CO<sub>2</sub> лазер з теплопровідним охолодженням планарної конструкції: будова, параметри резонатора, геометричні характеристики лазерного пучка.

Література: [1, 4].

#### **Тема 5.3. CO<sub>2</sub>-лазери з конвективним охолодженням.**

**Лекція 17.** Порівняльні енергетичні характеристики CO<sub>2</sub>-лазерів з теплопровідним і конвективним охолодженням. Наближений розрахунок потужності лазерного випромінювання CO<sub>2</sub>-лазера з конвективним охолодженням.

Література: [1, 5]

**Лекція 18.** Резонатори лазерів з конвективним охолодженням. Лазери з осьюовою та поперечною прокачкою; геометричні характеристики їх лазерних пучків.

Електродні системи в CO<sub>2</sub> – лазерах, як методи боротьби з нестійкостями тліючого розряду.

Блок – схема CO<sub>2</sub> лазера з конвективним охолодженням.

Література: [1,3, 5]

## ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичні заняття направлені на закріплення і використання отриманих знань для розрахунків параметрів лазерного проміння, генерованого певного типу лазерами із заданими конструктивними характеристиками, а також зворотню задачу: характеристики конструктивних складових лазерів, які повинні генерувати лазерне проміння заданих параметрів.

Теми практичних занять:

1. Побудова зображень в оптиці.
2. Розрахунок густини потужності в площині зображення джерела світла різних світлопроменевих установок.
3. Однорідність збудження активних елементів твердотільних лазерів.
4. Розрахунок потужності генерації лазерного проміння твердотільними та газовими лазерами: розрахунок оптимального коефіцієнта відбиття вихідного дзеркала та потужності генерованого лазерного проміння лазера із заданими розмірами активного середовища по даним коефіцієнта підсилення слабкого сигналу, інтенсивності насичення і коефіцієнта шкідливих втрат.
5. Знаходження параметрів лазерного пучка (конфокального параметра, положення горловини пучка, модового складу, сталої перетворення пучка), сформованого в стійкому резонаторі із заданими конструктивними параметрами, і зворотна цьому задача.
6. Знаходження параметрів лазерного пучка (кута розбіжності, діаметра пучка, збільшення резонатора, сталої перетворення пучка), сформованого в нестійкому резонаторі із заданими конструктивними параметрами, і зворотна цьому задача.
7. Розрахунок оптичної системи передачі лазерного проміння по світловолокну від лазера до оброблюваної деталі.

8. Розрахунок  $R_{\text{ген}}$  і коефіцієнта відбиття вихідного дзеркала гвих трубчастого одноканального CO<sub>2</sub> лазера з теплопровідним охолодженням.
9. Розрахунок параметрів резонатора лазера для технологічного устаткування, призначеного для обробки довговимірних виробів.

### ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Лабораторні роботи направлені на закріплення і використання отриманих знань для свідомого і цілеспрямованого вибору лазерів і фокусування їх лазерного пучка для виконання конкретних технологічних задач.

Теми лабораторних робіт:

Робота 1. Дослідження законів поширення, заломлення, відбиття світла. Взаємодія лазерного випромінювання з середовищами з різними коефіцієнтами заломлення.

Робота 2. Дослідження процесів збудження та генерації твердотільних стрижневих лазерів з діодним накачуванням, вивчення особливостей їх будови.

Робота 3. Дослідження особливостей дискових лазерів.

Робота 4. Дослідження особливостей резонатора волоконного лазера.

Робота 5. Напівпровідниковий (діодний) лазер. Дослідження процесів генерації.

Робота 6. Вивчення будови одноканальних CO<sub>2</sub> лазерів з теплопровідним охолодженням. Дослідження процесів генерації.

Робота 7. Планарний CO<sub>2</sub> лазер з теплопровідним охолодженням. Дослідження процесів генерації.

Робота 8. CO<sub>2</sub> лазер з конвективним охолодженням з повздовжнім прокачуванням газової суміші. Дослідження процесів генерації.

Робота 9. CO<sub>2</sub> лазер з конвективним охолодженням з поперечним прокачуванням газової суміші. Дослідження процесів генерації.

### САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТА

Самостійна робота студентів має наступні напрямки:

Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
<p>РОЗДІЛ 1. ВСТУП</p> <p>Тема 1.1: Застосування світла, як джерела тепла, для термічних технологій. Світлопроменеве зварювання.</p> <p>СРС: Навчитися будувати зображення джерела світла, коли воно розміщене між фокусом і лінзою, між подвійним фокусом і фокусом, за подвійним фокусом. Засвоїти поняття «швидкість нагрівання».</p> <p>Література: [1]</p>	1
<p>РОЗДІЛ 2 ЗАКОНИ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПОСТУЛАТИ ЕЙНШТЕЙНА – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ СВІТЛА.</p> <p>Тема 2.1. Закони теплового випромінювання.</p> <p>СРС: Вивчити закони теплового випромінювання.</p> <p>Тема 2.2. Постулати Ейнштейна – фізичні основи лазерної генерації</p>	3

<p>світла.</p> <p>СРС: досконало засвоїти типи переходів в атомах і молекулах. Вивчити всі три постулати Ейнштейна, та співвідношення між коефіцієнтами Ейнштейна для спонтанного та вимушеного проміння.</p> <p>Література: [1, 3, 5]</p>	
<p><b>РОЗДІЛ 3. ПОТУЖНІСТЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМІННЯ</b></p> <p>Тема 3.1. Фізичні явища, що створюють умови для генерації лазерного проміння.</p> <p>СРС: Закон Ламберта – Бугера – Бера. Потужність поглинання, коефіцієнти поглинання і підсилення. Звернути особливу увагу на умови переходу від поглинання до підсилення; і чи можна нагріванням активного середовища досягти стану підсилення.</p> <p>СРС: Оптична накачка. Оптичне збудження лазерного середовища. 3-х і 4-х рівневі схеми генерації. Принципова схема лазера з оптичною накачкою. Навчитися чітко розуміти, чому при оптичній накачці не можна одержати генерацію по дворівневій схемі, розрізнити 3-х і 4-х рівневі схеми генерації, а також вивчити складові квантрона з оптичною накачкою.</p> <p>Тема 3.2. Потужність лазерного проміння.</p> <p>СРС: Вивчити коефіцієнт підсилення слабого сигналу і діючий коефіцієнт підсилення; звернути особливу увагу при яких умовах діє перший і другий.</p> <p>Література: [1-5]</p>	4
<p><b>РОЗДІЛ 4. ТЕОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ПУЧКІВ.</b></p> <p>Тема 4.1. Інтерференція і дифракція світла. Формування лазерного пучка в резонаторі.</p> <p>СРС: Вивчити інтерференцію та дифракцію світла; вміти за допомогою зон Френеля розв'язувати прості задачі по дифракції на центрованих діафрагмах – круглих та кільцевих отворах; закритих круглим екраном по центру</p> <p>Тема 4.2. Властивості лазерного пучка, сформованого в стійкому резонаторі.</p> <p>СРС: знати розподіл напруженості електричного поля і інтенсивності по радіусу поперечного перерізу гаусівського пучка; знати умову виникнення типів коливань вищих порядків, володіти умінням розпізнавати тк вищих порядків</p> <p>Тема 4.3. Властивості лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі.</p> <p>СРС: знати визначення збільшення нестійкого резонатора; методи виведення лазерного пучка із резонатора; як змінюється розподіл інтенсивності в поперечному перерізі пучка при його поширенні в просторі.</p> <p>Тема 4.4. Порівняння параметрів сфокусованих лазерних пучків, сформованих у стійкому і нестійкому резонаторах.</p> <p>СРС: Знати при яких умовах доцільно використовувати стійкі і нестійкі резонатори.</p> <p>Тема 4.5. Передача світлового пучка по світловолокну.</p> <p>СРС: Будову світловолокну з круглим перерізом; граничний кут падіння променя на торець світловолокну, при якому промінь, поширюючись по ньому, на його бічній поверхні відбувається повне</p>	12

<p>внутрішнє відбиття; числова апертура світло волокна.          Тема 4.6. Узагальнені характеристики лазерного пучка.          СРС: аналітично одержати вираз для сталої перетворення пучка і його показника якості. знати визначення глибини чіткості для пучків сформованих в ср, нр та такому, що пройшов через світло волокно          Література: [1-5, 7]</p>	
<p>РОЗДІЛ 5. СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕР.          Тема 5.1. Фізичні явища і фізико-технічні засоби збудження активного середовища СО<sub>2</sub>-лазера. Тліючий розряд.          СРС: Знати схему енергетичних рівнів молекули вуглекислого газу та азоту; фізичні процеси під дією яких вони заселяються і розселяються, час життя на рівнях.          Тема 5.2. Лазери з теплопровідним охолодженням.          СРС: Яка залежність потужності лазерної генерації від поперечних розмірів активного середовища та довжини його. Які переваги і недоліки мають багатоканальні лазери порівняно з одноканальними. Які резонатори застосовують в одноканальних і багатоканальних лазерах          Тема 5.3. СО<sub>2</sub>-лазери з конвективним охолодженням.          СРС: Навчитися вільно порівнювати енергетичні характеристики СО<sub>2</sub>-лазерів з теплопровідним і конвективним охолодженням; проводити наближений розрахунок потужності лазерного випромінювання СО<sub>2</sub>-лазера з конвективним охолодженням          Література: [1-6]</p>	8

## Політика та контроль

### 2. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальний процес та стосунки між учасниками цього процесу, повинні базуватися на нормах взаємоповаги, професійної етики та сумлінного ставлення до своїх обов'язків. Не допускаються образливі висловлювання, ненормативна лексика чи будь-які прояви дискримінації.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Відвідування занять не є обов'язковим, але, в такому разі, пропущений матеріал студент має засвоїти самостійно. Активність на заняттях заохочується додатковими балами в рейтинг, у випадку надання додаткової корисної інформації за темою заняття, чи правильних відповідей на питання.

Дозволяється під час пар використовувати цифрові пристрої для проведення розрахунків, пошуку додаткової інформації чи знаходження відповідників термінології іноземними мовами. Однак, під час проведення контрольних заходів, використання додаткових засобів цифрових, паперових, тощо, - заборонено. У випадку виявлення, під час контрольного заходу, нехтування студентом принципів академічної доброчесності, списуванням у інших студентів чи використання заборонених допоміжних матеріалів, студент штрафується зменшенням оцінки з контрольний захід. На перший раз – від оцінки за роботу віднімається третина від максимальної кількості балів за цей контрольний захід. На другий раз – по роботі виставляється «0» а написання роботи припиняється. (Списування є забороненим. Політика та принципи академічної доброчесності

визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code> .)

### 3. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

#### Поточний контроль.

Протягом навчання виконуються 9 лабораторних робіт кожна з яких оцінюється окремо, а результати поточного контролю регулярно заносяться викладачем у модуль «Поточний контроль» Електронного кампусу.

#### Календарний контроль.

Календарний контроль проводиться двічі на семестр за графіком навчального процесу Університету, як правило, на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання і реалізується шляхом визначення рівня відповідності поточних досягнень (рейтингу) здобувача встановленим і визначеним в PCO критеріям. Результати календарного контролю заносяться екзаменатором у модуль «Календарний контроль» Електронного кампусу.

Перша та друга частини модульної контрольної роботи (МКР) проводяться перед, відповідно, першою та другою атестаціями.

Для одержання атестації потрібно: виконати та здати не менше половини відпрацьованих лабораторних робіт та одержати по модульній контрольній роботі 50%+1бал, відносно максимуму за цю контрольну.

#### Семестровий контроль

Навчальним планом передбачено залік.

Умовою допуску до заліку є зараховані лабораторні роботи та домашня контрольна робота. Домашня контрольна робота виконуються самостійно, згідно індивідуального завдання. Заборонено здавати чужу роботу чи маніпулювати вихідними даними, подібні дії штрафуються відніманням третини балів від максимальної кількості балів за дану роботу.

#### Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів за освітнім компонентом

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань освітнього компоненту згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Всього (кредит/годин)	Розподіл годин за видами занять						СРС			Кількість МКР	Вид інд. завд.	Семестрова атестація
		Лекції	Практичні заняття	Семінари	Лабораторні роботи	Комп. практикум	Всього						
							Всього	виконання	індивід. завдання				
3	4.0/120	36	18	-	18	-	48	10	1	ргр	залік		

Рейтингові бали студент заробляє протягом семестру за рахунок написання модульної контрольної роботи, виконання 9 лабораторних робіт та домашньої контрольної роботи.

#### Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з двох частин, кожна з яких оцінюється окремо.

Ваговий бал – 20 за кожну частину. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює  $20 \times 2 = 40$  балів.

Контрольна може бути у формі відкритих питань на розгорнуту відповідь або мати форму тесту.

В першому випадку, контрольна містить чотири питання, два теоретичного спрямування та два практичного спрямування, кожне з них оцінюється в 5 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на всі запитання – 20 балів;
- не повна відповідь на всі запитання або відповідь не на всі запитання – 19 – 6;
- відповідь на одне запитання або часткова відповідь на запитання – 5-1.

В другому випадку, контрольна містить двадцять питань на коротку відповідь, кожне з яких оцінюється в 1 бал, а оцінка залежить від кількості правильних відповідей.

Лабораторні роботи

Ваговий бал – 4 бали за кожну роботу. Максимальна кількість балів за всі практичні роботи дорівнює  $4 \times 9 = 36$ .

Критерії оцінювання кожного завдання:

- повністю та правильно виконане завдання – 4 балів;
- завдання виконане в цілому вірно, але наявні певні неточності – 3-2;
- завдання виконане з суттєвими помилками, або виконане не в повній мірі – 1.

РГР

Ваговий бал – 24. Містить розрахункову та графічну частини, які оцінюються в комплексі.

Критерії оцінювання:

- повністю та правильно виконане завдання – 24 балів;
- завдання виконане в цілому вірно, але наявні певні неточності та незначні помилки – 24-18;
- завдання виконане з помилками, але з достатнім ступенем правильності, щоб бути зарахованим – 17-14.

***Розрахунок шкали (R) рейтингу:***

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RD = 20 \times 2 + 4 \times 9 + 24 = 100 \text{ балів.}$$

У випадку незгоди із підсумковою оцінкою згідно рейтингу, студент має право відмовитися від рейтингу і написати залікову контрольну роботу вагою 100 балів. При цьому, попередньо зароблений рейтинг анулюється.

Залікова контрольна робота

Ваговий бал – 100.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на запитання, відповідь викладена правильно, питання розкриті в достатній мірі – 100 - 95 балів;
- не повна відповідь на запитання або відповідь з певними неточностями – 94 – 74;
- часткова відповідь на запитання, чи відповідь з суттєвими помилками – 73 – 60.
- Студент, котрий отримав менше 60 балів направляється на перескладання заліку.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

#### 4. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

ДОДАТОК А

Орієнтовні питання на контрольні заходи  
МКР ч.1

1. Побудуйте хід променів в світлопроменевої установці при такому положенні джерела світла по відношенню до лінзи:  $a > 2F$ .
2. Побудуйте хід променів в світлопроменевої установці при такому положенні джерела світла по відношенню до лінзи:  $a = 2F$ .
3. Побудуйте хід променів в світлопроменевої установці, коли джерело світла точкове, розміщене на осі і на відстані  $2F > a > F$  до лінзи.
4. Побудуйте хід променів в світлопроменевої установці при такому положенні джерела світла по відношенню до лінзи:  $2F > a > F$ .
5. Побудуйте хід променів після фокусувальної лінзи з фокусною відстанню  $F$ , на яку падає центрований (тобто симетричний до головної оптичної осі лінзи) збіжний (підфокусований) світловий пучок.
6. Назвіть які є переходи в атомах і молекулах. Дайте їм визначення.
7. Назвіть властивості вимушених переходів (тобто сформулюйте постулати Ейнштейна).
8. Які причини розширення спектральних ліній?
9. Яка роль вимушеного випромінювання в механізмі лазерної генерації світла?
10. Назвіть три функції, які виконує лазерний резонатор.
11. Сформулюйте закон Ламберта – Бугера – Бера в диференціальній і інтегральній формі. При яких умовах справедливі названі форми цього закону?
12. При яких умовах поглинання світла в середовищі змінюється його підсиленням? Що таке інверсна населеність? Чи можна створити нагріванням інверсну населеність?
13. За яких умов коефіцієнт підсилення відмінний від нуля?
14. Чому при оптичній накачці не можна одержати лазерної генерації на дворівневій схемі? Для чого використовують три – і чотирирівневі схеми генерації? Назвіть вимоги до часу життя збуджених рівнів і їх розміщення по енергіям.
15. Дайте визначення коефіцієнта підсилення слабкого сигналу? Від чого він залежить?
16. Як змінюється коефіцієнт підсилення при поширенні світлового пучка в збудженому середовищі (запишіть формулу)?
17. Що таке інтенсивність насичення, дайте її визначення? Від чого вона залежить? Вона є характеристикою стану активного середовища чи потужності накачки?
18. Напишіть  $\phi$ -лу для потужності лазерного випромінювання. Намалюйте залежність  $P_{ген}$  від коефіцієнта підсилення слабкого сигналу Поясніть фізичну суть характерних точок цієї залежності.
19. Напишіть  $\phi$ -лу для потужності лазерного випромінювання. Накресліть залежність  $P_{ген}$  від коефіцієнта радіаційних втрат. Поясніть фізичну суть характерних точок цієї залежності.
20. Чому дорівнює питома потужність генерації?
21. Які джерела світла є когерентними.
22. Як додаються інтенсивності для когерентних і некогерентних джерел світла в кількості  $N$ .
23. Сформулюйте принцип Гюйгенса. Що нового додав в цей принцип 15аращук15.
24. На непрозорий круглий екран з чіткими краями падає світловий пучок з плоским фазовим фронтом. Яка буде освітленість на осі пучка на різних відстанях від екрану.

25. На непрозорий екран з круглим отвором, краї якого чіткі, падає світловий пучок з плоским фазовим фронтом. Яка буде освітленість на осі пучка на різних відстанях від екрану, від чого вона буде залежати.
26. Назвіть фізичні явища і як під їх дією формується лазерний пучок в резонаторі.
27. Напишіть формулу розподілу інтенсивності по радіусу в поперечному перерізі гаусівського пучка.
28. Дайте визначення стійких і нестійких резонаторів. Запишіть умову стійкості.
29. Дайте три визначення радіуса гаусівського пучка.
30. Напишіть формулу для розбіжності гаусівського пучка (мода TEM<sub>00</sub>).
31. Дайте визначення конфокального параметра пучка  $Z_0$  і напишіть аналітичну залежність  $Z_0$  від радіуса пучка в горловині і довжини хвилі світлового проміння.
32. Напишіть ф-лу для конфокального параметра  $Z_0$  стійкого симетричного резонатора через його конструктивні параметри: радіус кривини дзеркал і відстань між ними.
33. Чому дорівнює радіус кривини фазового фронту на поверхні дзеркала СР. 34. Чому дорівнює радіус пучка моди вищого порядку TEM<sub>mn</sub> і його кут розбіжності.
15. Чи є гомоцентричним лазерний пучок, сформований в стійкому резонаторі. Що є доказом його гомоцентричності чи негомоцентричності. Що є мірою негомоцентричності світлового пучка.
36. Дайте визначення «збільшення нестійкого резонатора». Як виводиться лазерне проміння із нестійких резонаторів. Де застосовуються нестійкі резонатори.
37. Намалюйте хід променів в нестійких телескопічному і конфокальному резонаторах. Як виводиться лазерне проміння із нестійких резонаторів.
38. Чи є гомоцентричним лазерний пучок, сформований в нестійкому резонаторі. Напишіть ф-лу, яку необхідно використовувати для обчислення положення горловини сфокусованого пучка; ф-лу для коефіцієнта корисних втрат нестійких резонаторів.
39. Напишіть ф-лу для розбіжності лазерного пучка, сформованого в нестійкому резонаторі, і діаметра горловини сфокусованого пучка, який фокусується лінзою з фокусною відстанню F.
40. Опишіть будову світловолокна. Що визначає числова апертура світловолокна?

#### МКР ч.2

1. Накресліть схему рівнів молекули CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>. Назвіть час життя на рівні. Вкажіть верхній лазерний рівень і нижній лазерний рівень і довжини хвиль лазерного проміння, що відповідають цим переходам.
2. Назвіть роль вуглекислого газу, азоту і гелію в активному середовищі CO<sub>2</sub> лазера.
3. Яку роль виконує катодне падіння потенціалу в тліючому розряді, які фізичні явища діють в області катодного падіння потенціалу?
4. Яка частина тліючого розряду бере участь в збудженні активного середовища CO<sub>2</sub> лазера і які електричні параметри визначають цю частину TP, як від них залежить густина потужності накачки?
5. Яке фізичне явище відповідає за поперечні розміри тліючого розряду, які фізичні явища їх визначають?
6. Що таке іонізаційно перегрівна нестійкість (ІПН) тліючого розряду? Як вона виникає, тобто напишіть причинно-наслідковий ланцюг фізичних явищ, що спричинюють ІПН?
7. Чому відсутня термічна рівновага в позитивному стовпі тліючого розряду?
8. Що таке лазери з теплопровідним охолодженням? Назвіть відомі Вам типи цих лазерів.
9. Назвіть відомі Вам типи теплопровідно охолоджуваних лазерів. Опишіть будову одно-канального трубчатого лазера. Як залежить потужність лазерного проміння від розмірів активного середовища.
10. Опишіть будову багатоканального трубчатого лазера (БТЛ), який резонатор використовується в ньому. Назвіть переваги і недоліки БТЛ порівняно з одноканальним.



11. Опишіть будову лазера щілинної конструкції, який резонатор використовується в ньому. Назвіть переваги і недоліки його порівняно з багатоканальним трубчатим лазером.
12. Які резонатори використовуються в лазерах з теплопровідним охолодженням?
13. Що таке лазери з конвективним охолодженням? Назвіть відомі Вам типи цих лазерів, а також оптичні особливості їх активного середовища
14. Накресліть принципову схему CO<sub>2</sub> лазера з осьовою прокачкою.
15. Накресліть принципову схему CO<sub>2</sub> лазера з поперечною прокачкою.
16. Які резонатори використовуються в лазерах трубчатого типу з теплопровідним охолодженням і осьовою прокачкою?
17. Які резонатори використовуються в лазерах з поперечною прокачкою?
18. Назвіть методи боротьби з нестійкостями тліючого розряду в лазерах з теплопровідним охолодженням.
19. Назвіть методи боротьби з нестійкостями тліючого розряду в лазерах з конвективним охолодженням.
20. Як залежить потужність лазерного проміння, генерованого CO<sub>2</sub> лазером, від напруги на тліючому розряді і струму розряду.
21. Накресліть схему рівнів рубінового лазера. Вкажіть час життя на рівні, який з них ВЛР, а який НЛР. По якій схемі працює цей лазер: трьохрівневій чи чотирьохрівневій?
22. Накресліть схему рівнів неодимового лазера. Вкажіть час життя на рівні, який з них ВЛР, а який НЛР. По якій схемі працює цей лазер: трьохрівневій чи чотирьохрівневій?
23. Накресліть оптичні схеми накачки і резонатора стрижневого твердотілого лазера з оптичною накачкою.
24. Напишіть формули для розбіжності лазерного пучка, сталої перетворення пучка і показника якості пучка стрижневого твердотілого лазера з оптичною накачкою. Поясніть фізичні величини, які входять в ці формули.
25. Накресліть оптичні схеми накачки і резонатора дискового твердотілого лазера з оптичною накачкою.
26. Напишіть формули для розбіжності лазерного пучка, сталої перетворення пучка і показника якості пучка дискового твердотілого лазера з оптичною накачкою. Поясніть фізичні величини, які входять в ці формули.
27. Накресліть оптичні схеми накачки і резонатора волоконного твердотілого лазера з оптичною накачкою.
28. Напишіть формули для розбіжності лазерного пучка, сталої перетворення пучка і показника якості пучка волоконного багатомодового твердотілого лазера з оптичною накачкою. Поясніть фізичні величини, які входять в ці формули.
29. Які резонатори застосовують в стрижневих і дискових твердотілих лазерах з оптичною накачкою?
30. Які резонатори застосовують у волоконних твердотілих лазерах з оптичною накачкою?
31. Чому в резонаторах твердотілих лазерів з оптичною накачкою формується лазерний пучок моди вищого порядку?
32. З яких деталей складається квантрон стрижневого твердотілого лазера з оптичною накачкою промінням напівпровідникових лазерів?
33. Які параметри резонатора визначають розбіжність лазерного пучка лазера стрижневого типу?
34. З яких деталей складається квантрон дискового твердотілого лазера з оптичною накачкою?
35. Які параметри резонатора визначають розбіжність лазерного пучка лазера дискового типу?
36. З яких деталей складається квантрон волоконного твердотілого лазера з оптичною накачкою?
37. Які параметри резонатора визначають розбіжність лазерного пучка лазера волоконного типу?

38. Дайте визначення зони провідності і валентної зони в напівпровідниках? Як впливають домішки на електропровідність напівпровідників?
39. Намалюйте принципову електричну схему лазерного діода. Що таке лазерне поле, лазерна лінійка, лазерна матриця?
40. Чи висока якість світлового проміння лазерної матриці? Де використовуються потужні напівпровідникові лазери?

## ДОДАТОК Б

### Орієнтовні ТЕМИ РГР

1. Описати будову неодимового на склі лазера (без джерела живлення), його комплектуючих і їх характеристики, намалювати квантрон (в масштабі), в якому джерелом світла збудження є імпульсна лампа. Для активного елемента з довжиною 120мм і діаметром 12мм розрахувати розбіжність пучка, його сталу перетворення і показник якості пучка, якщо при роботі лазера АЕ спотворюється в позитивну лінзу з оптичною силою 2 діоптрії, а відстань між дзеркалами резонатора 0,5м.
2. Описати будову неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера (без джерела живлення), який працює в імпульсному режимі, його комплектуючих і їх характеристики, намалювати квантрон (в масштабі), в якому джерелом світла збудження є імпульсна лампа. Для активного елемента з довжиною 90мм і діаметром 6мм розрахувати розбіжність пучка, його сталу перетворення і показник якості пучка, якщо при роботі лазера АЕ спотворюється в позитивну лінзу з оптичною силою 1,5 діоптрії, а відстань між дзеркалами резонатора 0,4м.
3. Описати будову неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера (без джерела живлення), який працює в неперервному режимі, його комплектуючих і їх характеристики, намалювати квантрон (в масштабі), в якому джерелом світла збудження є дугова лампа. Для активного елемента з довжиною 90мм і діаметром 6мм розрахувати мінімальну розбіжність пучка, його сталу перетворення і показник якості пучка, якщо при роботі лазера АЕ спотворюється в позитивну лінзу з оптичною силою 3 діоптрії, а відстань між дзеркалами резонатора 0,3м. .
4. Визначити оптичну силу теплової лінзи активного елемента лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті, легovanому неодимом, неперервної дії. АЕ має розміри: довжину 100мм і діаметр 7мм, відстань між дзеркалами резонатора дорівнює подвійній фокусній відстані теплової лінзи АЕ, резонатор симетричний. АЕ збуджується світлом напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі  $\lambda=0,81\text{мкм}$ ; в ньому виділяється 150Вт теплової потужності. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.
5. Лазер на ітрій-алюмінієвому гранаті, легovanому неодимом, неперервної дії. В його резонаторі розміщено на одній осі два квантрони, активні елементи яких мають розміри: довжину 90мм і діаметр 6мм. Під час роботи вони спотворюються в позитивну лінзу з фокусною відстанню 1м. Резонатор симетричний. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.
6. Розрахувати резонатор неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера неперервної дії з потужністю генерації  $P=250\text{Вт}$ , який збуджується промінням діодних лазерів.  
В роботі виконати наступне:
  - вибрати довжину стрижня активного середовища, якщо його діаметр  $2a=7\text{мм}$ , спроектувати освітлювач з матрицями діодних лазерів, котрі мають довжину 10мм.
  - визначити коефіцієнт відбиття вихідного дзеркала;
  - визначити розбіжність генерованого лазерного пучка, його якість і сталу перетворення.Відомо: що  $k_0^{\text{макс}}=0,1\text{см}^{-1}$ ,  $I_{\text{нас}}=820\text{Вт/см}^2$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,002\text{см}^{-1}$ , а показник заломлення дорівнює  $n=1,84$ ;  $r_1=0,995$ , АЕ при роботі лазера спотворюється в лінзу з  $F=0,5\text{м}$ , а його резонатор симетричний.

7. В неодимовому на ітрій-алюмінієвому гранаті лазері, який працює в неперервному режимі і має активний елемент довжиною 120мм і діаметром 8мм, і при роботі лазера спотворюється в лінзу з  $F=0,4\text{м}$ . В лазері застосувати резонатор найстабільніший при зміні потужності пучка. Визначити параметри пучка: конфокальний параметр та його розбіжність. Розробити фокусувальну систему для цього пучка, яка віддалена від вихідного дзеркала резонатора на відстань 0,5м, таку щоб сфокусований пучок мав радіус горловини 0,15мм. Визначити глибину чіткості сфокусованого пучка.

8. Кілька неодимових на ітрій-алюмінієвому гранаті квантронів неперервної дії виставлені на одній оптичній осі, повинні генерувати спільний лазерний пучок з потужністю  $N>800\text{Вт}$ . При роботі лазера АЕ кожний спотворюється в лінзу з  $F=0,5\text{м}$ . Дзеркала резонатора розміщені від торців крайніх АЕ на половину відстані між ближніми торцями сусідніх квантронів. При цьому відомо, що  $k_0=0,08\text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати АС  $\rho_a=0,002\text{ см}^{-1}$ ,  $I_{\text{нас}}=820\text{ Вт/см}^2$ ; довжина АЕ 100мм,  $n=1,84$ ;  $r_1=0,995$ , торці просвітлені до  $r_{\text{фр}}=0,005$ .

В роботі виконати наступне:

- визначити оптимальну кількість квантронів для досягнення заданої потужності;
- визначити розбіжність лазерного пучка, його якість і сталу перетворення.

9. Розробити і розрахувати оптичну схему вводу лазерного пучка одноквантронного лазера в оптоволокно і виводу із нього, а також схему фокусування на деталь. При цьому відомо, що квантрон може генерувати максимальну потужність 400 Вт,  $k_0=0,08\text{ см}^{-1}$ ,  $I_{\text{нас}}=820\text{ Вт/см}^2$ , шкідливі втрати АС  $\rho_a=0,002\text{ см}^{-1}$ , торці просвітлені до  $r_{\text{фр}}=0,005$ ,  $n=1,84$ ;  $r_1=0,995$ . Діаметр сердечини оптоволокна рівний 0,5мм, а його числова апертура  $A_N=0,25$ . АЕ має довжину 100мм і при роботі лазера спотворюється в лінзу з  $F=0,35\text{м}$ .

В роботі виконати наступне:

- розрахувати параметри резонатора і сформованого в ньому пучка, а також схему вводу пучка в оптоволокно;
- розрахувати і сконструювати (тобто накреслити) оптичну систему виводу пучка із оптоволокна і його фокусування на деталь з діаметром сфокусованого пучка 0,4мм.

10. Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення  $\text{CO}_2$  –лазера з теплопровідним охолодженням трубчастої конструкції потужністю  $P_{\text{ген}}=750\text{ Вт}$ , який генерує пучок ТК  $\text{TEM}_{00}$ . При цьому відомо, що  $k_0^{\text{макс}}=0,005\text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,0001\text{ см}^{-1}$ ,  $P_{\text{нак}}/L=400\text{ Вт/м}$ , електрооптичний ККД  $\eta_{\text{ео}}=0,21$ ,  $E/p=8\text{В/см}\cdot\text{Торр}$ ,  $r_1=0,98$ .

В роботі виконати наступне:

- визначити хімічний склад і розміри активного середовища – довжину і діаметр трубки;
- обчислити прозорість вихідного дзеркала;
- розрахувати потужність накачки, величину струму і напруги.

11. Розрахувати резонатор  $\text{CO}_2$  –лазера з теплопровідним охолодженням трубчастої конструкції потужністю  $P_{\text{ген}}=500\text{ Вт}$ , в якому формується мода  $\text{TEM}_{00}$ . При цьому відомо,  $P_{\text{нак}}/L=400\text{ Вт/м}$ , електрооптичний ККД  $\eta_{\text{ео}}=0,21$ ,  $k_0^{\text{макс}}=0,005\text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,0001\text{ см}^{-1}$ .

В роботі виконати наступне:

- Визначити хімічний склад і розміри активного середовища – довжину і діаметр трубки;
- розрахувати кривину дзеркал резонатора і їх діаметри;
- обчислити прозорість вихідного дзеркала;
- визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення.

12. Розрахувати  $P_{\text{ген}}$ , обґрунтувати вибір резонатора теплопровідно охолоджуваного  $\text{CO}_2$  – лазера планарної конструкції (Slab – laser). Лазер має електроди з площею  $a \times L$  і висота простору між електродами, в якому горить ВЧ – розряд,  $b$ . Розрахунки провести для лазера з такими

параметрами: енерговклад  $\sigma=50 \text{ Вт/см}^3$ ,  $a=4 \text{ см}$ ,  $L=100 \text{ см}$ ,  $b=0,2 \text{ см}$ , електрооптичний ККД  $\eta_{\text{eo}}=0,24$ ,  $I_{\text{нас}}=1200 \text{ Вт/см}^2$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,001 \text{ см}^{-1}$ .

В роботі виконати наступне:

- розрахувати  $P_{\text{ген}}$ ;
- обґрунтувати вибір резонатора-стійкий чи нестійкий; визначити геометричні параметри його дзеркал і геометричні характеристики генерованого пучка;
- розробити оптичну систему, яка формує компактний переріз пучка.

13. Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення  $\text{CO}_2$ -лазера з швидкою осьюою прокачкою, якщо довжина АС становить 2м, а лазер генерує на моді  $\text{TEM}_{01}$ . При цьому відомо, що питомий енерговклад становить  $\sigma=5 \text{ Вт/см}^3$ ,  $E/p=10 \text{ В/(см Торр)}$ ,  $p=20 \text{ Торр}$ , електрооптичний ККД  $\eta_{\text{eo}}=0,2$ ;  $k_0^{\text{макс}}=0,02 \text{ см}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{a.c.}}=0,0001 \text{ см}^{-1}$ .

В роботі виконати наступне:

- визначити хімічний склад АС і діаметр трубки, по якій воно прокачується, накреслити принципову схему резонатора.
- розрахувати  $P_{\text{нак}}$ , величину струму і напруги, представити залежність  $P_{\text{ген}}=f(I_{\text{нак}})$ .

14. Розрахувати резонатор  $\text{CO}_2$ -лазера з швидкою осьюою прокачкою з потужністю генерації  $P_{\text{ген}}=2000 \text{ Вт}$ . При цьому відомо, що питомий енерговклад становить  $\sigma=5 \text{ Вт/см}^3$ , електрооптичний ККД  $\eta_{\text{eo}}=0,2$ ,  $k_0^{\text{макс}}=0,01 \text{ см}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{a.c.}}=0,0001 \text{ см}^{-1}$ , лазер генерує на моді  $\text{TEM}_{10}$ , непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98.

В роботі виконати наступне:

- Визначити хімічний склад і розміри активного середовища, якщо воно прокачується по трубці з круглим перерізом;
- обчислити кривину дзеркал резонатора і його принципову схему, прозорість вихідного дзеркала; визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення;

15. Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення  $\text{CO}_2$ -лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації  $P_{\text{ген}}>5000 \text{ Вт}$ . При цьому відомо, що питомий енерговклад становить  $\sigma=5 \text{ Вт/см}^3$ ,  $E/p=12 \text{ В/(см Торр)}$ ,  $p=35 \text{ Торр}$ ,  $I_{\text{нас}}=150 \text{ Вт/см}^2$ ,  $K_0^{\text{макс}}=0,012 \text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,0001$ , висота розряду  $H=4 \text{ см}$ , непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98, лазер генерує на моді  $\text{TEM}_{22}$ .

В роботі виконати наступне:

- визначити розміри активного середовища, його хімічний склад;
- розрахувати потужність накачки, величину струму і напруги, представити залежність  $P_{\text{ген}}=f(I_{\text{нак}})$ ;
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

16. Розрахувати резонатор  $\text{CO}_2$ -лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації  $P_{\text{ген}}=3000 \text{ Вт}$ . Відомо, що  $I_{\text{нас}}=150 \text{ Вт/см}^2$ ,  $k_0^{\text{макс}}=0,012 \text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,0001$ , висота розряду  $H=3 \text{ см}$ , лазер генерує на моді  $\text{TEM}_{11}$ .

В роботі виконати наступне:

- визначити розміри активного середовища, його хімічний склад;
- обчислити кривину дзеркал резонатора і прозорість вихідного дзеркала;
- визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення;
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

17. Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення і параметри нестійкого резонатора  $\text{CO}_2$ -лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації  $P_{\text{ген}}>4000 \text{ Вт}$ . Відомо, що висота розряду  $H=4 \text{ см}$ ,  $\sigma_{\text{нак}}=5 \text{ Вт/см}^3$ ,  $E/p=12 \text{ В/см Торр}$ ,  $p=30 \text{ Торр}$ , ККД  $\eta_{\text{eo}}=0,2$ ,  $K_0^{\text{макс}}=0,012 \text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a=0,00012$ , непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98.

В роботі виконати наступне:

- визначити розміри активного середовища, його хімічний склад;
- розрахувати  $P_{\text{нак}}$ , величину струму і напруги, представити залежність  $P_{\text{ген}}=f(I_{\text{нак}})$ ;
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

18. Розрахувати нестійкий резонатор CO<sub>2</sub>-лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації  $P_{\text{ген}} = 3000 \text{ Вт}$ . Відомо, що висота розряду  $H = 4 \text{ см}$ , питомий енерговклад становить  $\sigma_{\text{нак}} = 5 \text{ Вт/см}^3$ , ККД  $\eta_{\text{ео}} = 0,2$ ,  $K_{0\text{max}} = 0,012 \text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a = 0,00012$ , непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98.

В роботі виконати наступне:

- визначити розміри активного середовища, його хімічний склад;
- обчислити кривину дзеркал і оптимальне збільшення резонатора;
- визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення;
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

19. Багатоканальний CO<sub>2</sub> лазер з потужністю генерації 1800 Вт. Відомо, що трубка окремого каналу має розміри:  $l = 900 \text{ мм}$ ,  $\varnothing_{\text{зовн}} = 10 \text{ мм}$ ,  $\varnothing_{\text{вн}} = 8 \text{ мм}$ ;  $k_0^{\text{макс}} = 0,02 \text{ см}^{-1}$ , шкідливі втрати активного середовища  $\rho_a = 0,0001 \text{ см}^{-1}$ , коефіцієнт відбиття глухого дзеркала 0,98, питома потужність генерації – 80 Вт/м; канали генерують некогерентно.

В роботі виконати наступне:

- розрахувати його активний елемент, радіус кривини дзеркал і принципову схему резонатора; розбіжність лазерного пучка, сталу перетворення і показник якості;
- обчислити оптимальний коефіцієнт відбиття вихідного дзеркала;
- визначити діаметр сфокусованого пучка, якщо фокусувальна лінза має  $F = 200 \text{ мм}$ .
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

20. Неодимовий на ітрій – алюмінієвому гранаті лазер неперервної дії має довжину АЕ 120 мм. В його квантроні можна встановити АЕ з діаметром 8 мм, або 12 мм. АЕ при роботі лазера спотворюються в лінзу з  $F = 1 \text{ м}$  та  $F = 0,75 \text{ м}$ , відповідно.

- із двох запропонованих стрижнів виберіть такий, який забезпечує меншу розбіжність генерованого пучка, обґрунтуйте Ваш вибір і доведіть це обчисленням;
- визначити радіус лазерного пучка на дзеркалах і їх радіус;
- розрахувати розбіжність лазерного пучка, порядок старшої моди, яка виходить в генерацію, визначити показник якості і сталу перетворення.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцент, к.т.н., доцент, Кагляк Олексій Дмитрович

**Ухвалено** кафедрою Лазерної техніки та фізико-технічних технологій (протокол № 5 від 17.11.2023)

**Погоджено** Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона

(протокол № від .2023)