

# Інститут телекомунікацій, радіоелектроніки і електронної техніки

*Спеціалізація:*

**Мікро- та наносистемна техніка**

(код 153/0410)

*Спеціальність:*

**Лазерна і оптоелектронна техніка**

(код 153)

*Галузь знань:*

**Автоматизація та приладобудування**

(код 15)

## **Перелік дисциплін для вступу на навчання за освітньою програмою підготовки магістр**

- **Лазерна техніка та квантова електроніка**

---

- **Оптичні вимірювання**

---

- **Оптичні матеріали**

---

- **Основи проектування та конструювання лазерів**

---

- **Прикладна оптика**

---

## **Дисципліна: Лазерна техніка та квантова електроніка**

---

### **Розділ 1. Елементи квантової механіки та її основні постулати**

§ 1. Основні постулати і теореми квантової механіки. Рівняння Шредінгера. Хвильова функція та її фізичний зміст. Оператори фізичних величин. Принцип невизначеності Гайзенберга

§ 2. Гармонічний осцилятор. Розв'язок рівняння Шредінгера для гармонічного осцилятора. Поліноми Ерміта. Оператори народження та знищення

§ 3. Розклад електромагнітного поля за модами резонатора. Квантування поля і плоских хвиль. Густина станів і випромінювання абсолютно чорного тіла

### **Розділ 2. Теорія оптичних резонаторів**

§ 1. Лінзовий хвилевод. Променева матриця. Проходження променів через біперіодичну послідовність лінз. Умови стійкості проходження. Хід променів між дзеркалами

§ 2. Хвильове рівняння для пучка Гауса. Гаусів пучок в лінзовому хвилеводі. Фокусування пучка Гауса. Локалізація пучка Гауса в лінзовому хвилеводі. Закон ABCD. Хвильові пучки вищих порядків в однорідному середовищі

§ 3. Оптичні резонатори. Резонатори зі сферичними дзеркалами. Резонатор з симетричними дзеркалами. Критерій стійкості мод. Самоузгоджений метод знаходження мод резонатора. Діаграма стійкості

§ 4. Моді комбінованого резонатора – самоузгоджений метод. Резонансні частоти. Втрати в оптичному резонаторі. Нестійкі оптичні резонатори. Добротність резонатора

### **Розділ 3. Підсилювальні властивості активного середовища лазерів**

§ 1. Спонтанне і вимушене випромінювання, поглинання. Коефіцієнти Анштайна

§ 2. Розрахунок сприйнятливості методом матриці густини. Насичення. Фізичний прояв сприйнятливості. Однорідне розширення. Неоднорідне розширення. Показник підсилення. Виродження рівнів

§ 3. Процеси накачування. Оптичне накачування. ККД накачування. Швидкість накачування. Електричне накачування. "Майже" резонансна передача енергії

### **Розділ 4. Генерація лазерів та режими його роботи**

§ 1. Умови виникнення генерації. Порогова інверсія. Частота генерації. Вихідна потужність лазера і оптимальний зв'язок. Швидкісні рівняння. Трирівневі і чотирирівневі лазери. Монохроматичність і затування частоти

§ 2. Релаксаційні коливання в лазерах. Модуляція добротності і синхронізація мод в лазерах. Методи модуляції добротності. Синхронізація мод лазера з неоднорідно розширеною лінією підсилення. Синхронізація мод лазера однорідно розширеною лінією підсилення. Методи синхронізації мод. Пасивна синхронізація мод

§ 3. Селекція поперечних і повздовжніх мод. Просторова і часова когерентність. Комплексна ступінь когерентності

### **Розділ 5. Прилади квантової електроніки**

§ 1. Підсилення сигналів і спонтанного випромінювання в активному середовищі. Квантові підсилювачі та їх моделі. Оптичні квантові підсилювачі

§ 2. Шуми в лазерних підсилювачах і генераторах. Модель лазера за Ван дер Полем. Флуктуації частоти та інтенсивності

§ 3. Квантові стандарти частоти, довжини і часу. Аміачний лазер – активний стандарт частоти. Квантові стандарти частоти оптичного діапазону

§ 4. Ефект Саньяка і кільцевий інтерферометр-резонатор. Основні рівняння кільцевого резонатора і явище захоплення частоти. Метод розносу частоти

### **Розділ 6. Типи лазерів та їх характеристики**

§ 1. Твердотільні лазери. Рубіновий лазер. Розрахунок його характеристик. Лазери на YAG:Nd і неодимовому склі. Неодимові лазери з лазерно-діодним накачуванням. Розрахунок параметрів неодимових лазерів. Порівняння твердотільних лазерів

§ 2. Газові лазери. Лазери на нейтральних атомах He-Ne суміші. Їх характеристики. Іонні лазери на Ar і Kr. Їхні особливості та характеристики. Лазери на парі металів і їх параметри

§ 3. Молекулярні лазери. Коливальні та обертальні енергетичні рівні. Ультрафіолетові

лазери на водню та азоті. Ексімерні лазери

§ 4. Лазери в інфрачервоній області спектра. Лазери на CO<sub>2</sub> і CO. Газодинамічні лазери. Хімічні лазери. Їхні характеристики та застосування

§ 5. Лазери на барвниках. Лазери на центрах забарвлення. Їхні характеристики та застосування

§ 6. Напівпровідникові лазери. Будова і характеристики н/п лазера. Квантово-механічний опис процесів в н/п лазерах. Н/п лазери з розподіленим зворотнім зв'язком та з дзеркалами Бреґга. Застосування н/п лазерів

§ 7. Лазери на вільних електронах. Плазмові лазери. Їх будова та характеристики

### **Розділ 7. Лазери з використанням нелінійних ефектів**

§ 1. Нелінійна взаємодія потужного когерентного випромінювання з речовиною. Генерація другої гармоніки

§ 2. Процеси параметричного підсилення, генерації і флуоресценції. Перетворення частот

### **Література**

1. Звелто О. Фізика лазерів / О. Звелто. – М. : Мир, 1979.
2. Ярив А. Квантова електроніка / А. Ярив. – М. : Сов. радио, 1980.
3. Такума Х. Фізика напівпровідникових лазерів / Х. Такума. – М. : Мир, 1989.
4. Журнал «Квантова електроніка». – РАН. – 1980-2011.

## **Дисципліна: Оптичні вимірювання**

---

### **Розділ 1. Пристрої для вимірювання поляризаційних характеристик світла**

§ 1. Ідеальні та неідеальні поляризатори

§ 2. Фазові пластинки. Пластинки  $\pi/4$  та  $\pi/2$ . Відбиваючі фазові пластинки. Ахроматичні фазові пластинки. Керовані фазові пластинки на основі електрооптичного та фотопружного ефектів

§ 3. Активні перетворювачі поляризації. Електрооптичні, фотопружні, магнітооптичні перетворювачі поляризації

§ 4. Деполяризатори. Деполяризатор Ліотта, деполяризатор з рухомими фазовими пластинками. Електрооптичний деполяризатор

### **Розділ 2. Методи визначення поляризаційних характеристик світла**

§ 1. Зміна поляризації світла при проходженні через поляризатор та фазові пластинки

§ 2. Вимірювання азимута поляризації лінійно поляризованого світла. Метод повного гасіння. Півтіньовий метод. Метод симетричних кутів. Метод модуляції азимуту поляризації. Визначення азимута поляризації світла по фазі електричного сигналу

§ 3. Методи вимірювання ступеня поляризації світла

§ 4. Аналіз випромінювання з допомогою фазової пластинки і аналізатора. Схеми з використанням активних перетворювачів поляризації

§ 5. Багатоканальні схеми поляриметрії. Методи розділення пучка по каналах. Переваги багатоканальних поляриметрів

§ 6. Поляризаційна анізотропія оптичних приладів і її вплив на роботу поляриметрів. Зменшення похибки, пов'язаної з поляризаційною анізотропією

### **Розділ 3. Методи вимірювання інтенсивності світла**

§ 1. Фотометричні вимірювання з високим амплітудним розділенням. Мультиплікативні та компенсаційні методи зменшення похибки вимірювань

§ 2. Стабілізація часових характеристик джерел випромінювання. Стабілізація просторової структури випромінювання джерел світла

§ 3. Використання модуляції випромінювання в оптичних вимірюваннях

§ 4. Оптимізація параметрів фотоприймачів. Фотометрична сфера

### **Розділ 4. Вимірювання світлових величин**

§ 1. Світлові величини. Методи вимірювання яскравості та сили світла

§ 2. Вимірювання характеристик освітлювальних приладів

### **Розділ 5. Вимірювання властивостей речовин характеристик виробів**

§ 1. Оптичні методи вимірювання лінійних розмірів. Оптичні методи вимірювання кутівих

величин

§ 2. Методи контролю сферичних поверхонь. Методи контролю телескопічних дзеркал. Методи вимірювання однорідності оптичних матеріалів. Методи вимірювання площинності оптичних поверхонь

§ 3. Методи вимірювання показників заломлення. Методи вимірювання двозаломлення

§ 4. Методи вимірювання коефіцієнтів поглинання

§ 5. Фотопружний метод визначення розподілу механічних напружень

### Література

1. *Матвеев А.Н.* Оптика : учеб. пособие для вузов / А.Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1985. – 351 с.
2. *Борн М.* Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1970. – 856 с.
3. *Москалев В.А.* Теоретические основы оптико-физических исследований : учеб. пособие для вузов / В.А. Москалев. – Л. : Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1987. – 318 с.
4. *Гвоздева Н.П.* Теория оптических систем и оптические измерения / Н.П. Гвоздева, К.И. Коркина. – М. : Машиностроение, 1981. – 384 с.
5. *Нарасимхамурти Т.* Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов / Т. Нарасимхамурти. – М. : Мир, 1984. – 624 с.
6. *Справочник конструктора оптико-механических приборов* / под ред. В.А. Панова. – Л. : Машиностроение, 1983. – 742 с.
7. *Прикладная оптика* / под ред. Н.П. Заказнова. – М. : Машиностроение, 1988. – 312 с.
8. *Афанасьев В.А.* Оптические измерения : учеб. для вузов / В.А. Афанасьев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1981. – 229 с.
9. *Кирилловский В.К.* Оптические измерения. Ч. 3 : Функциональная схема прибора оптических измерений. Типовые узлы. Оптические измерения геометрических параметров : учеб. пособие / В.К. Кирилловский. – СПб. : ГУ ИТМО, 2005. – 67 с.

## Дисципліна: Оптичні матеріали

---

### Розділ 1. Оптичне скло

- § 1. Оптичне безколірне скло
- § 2. Оптичне кольорове скло
- § 3. Кварцове скло
- § 4. Лазерне скло
- § 5. Показники якості оптичного скла

### Розділ 2. Спеціальні оптичні матеріали

- § 1. Оптична кераміка
- § 2. Оптичні ситали
- § 3. Оптичні полімерні матеріали
- § 4. Матеріали волоконної техніки

### Розділ 3. Оптичні кристали

- § 1. Основні типи оптичних кристалів та їх характеристики
- § 2. Кристали для керування оптичним випромінюванням (модулятори)
- § 3. Кристали для використання в інфрачервоній області спектра
- § 4. Кристали для генерації лазерного випромінювання

### Розділ 4. Тонкоплівкові оптичні матеріали

- § 1. Діелектрики
- § 2. Напівпровідники
- § 3. Метали
- § 4. Багаточарові періодичні структури

### Розділ 5. Матеріали сучасної фотоніки

- § 1. Нанокompозитні матеріали
- § 2. Фотонні кристали
- § 3. Наночастинки
- § 4. Квантові точки

§ 5. Метаматеріали

**Розділ 6. Матеріали обробки оптичних деталей**

§ 1. Оптичні клеї

§ 2. Матеріали для шліфування та полірування оптичних деталей

§ 3. Матеріали очищення поверхонь оптичних деталей

**Література**

1. *Справочник технолога-оптика* / М.А. Окатов, Э.А. Антонов, А. Байгожин и др. – 2 изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
2. *Бондарчук Я.М.* Технология і обробка оптичних матеріалів / Я.М. Бондарчук. – Львів : Ліга-Прес, 2001. – 242 с.
3. *Оптические приборы* в машиностроении : справочник. – М. : Машиностроение, 1974. – 238 с.
4. *Ефремов А.А.* Изготовление и контроль оптических деталей : учеб. пособие для средних проф.-техн. училищ / А.А. Ефремов, Ю.В. Сальников. – М. : Высш. шк., 1983. – 255 с.
5. *Справочник конструктора оптико-механических приборов* / В.А. Панов, М.Я. Кругер и др.; под общ. ред. В.А. Панова. – 3-е изд., доп. и перераб. – Л. : Машиностроение, 1980. – 742 с.
6. *Материалы в приборостроении и автоматике* : справочник / под ред. Ю.М. Пятина. – М. : Машиностроение, 1982. – 528 с.
7. *Справочник технолога-оптика* : справочник / И.Я. Бубис, В.А. Веиденбах, И.И. Духопел и др.; под общ. ред. С.М. Кузнецова и М.А. Окатова. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 414 с.
8. *Толстоба Н.Д.* Проектирование узлов оптических приборов : учеб. пособ. / Н.Д. Толстоба, А.А. Цуканов. – СПб. : ИТМО, 2002 – 128 с.

**Дисципліна: Основи проектування та конструювання лазерів**

---

**Розділ 1. Основні види робіт зі створення нових приладів**

§ 1. Основні види робіт зі створення нових приладів (НДР та ДКР), їх зміст і порядок виконання

§ 2. Державна система стандартизації

§ 3. Єдина система конструкторської документації

§ 4. Комплект конструкторської документації на виріб

§ 5. Система параметрів, що встановлюються при виготовленні лазерів і способи задання норм на ці параметри

**Розділ 2. Фізичні основи дії лазерів**

§ 1. Енергетичні рівні. Розщеплення рівнів в зовнішньому магнітному та електричному полі

§ 2. Однорідне та неоднорідне розширення спектральних ліній

§ 3. Методи створення інверсії

§ 4. Блок-схема лазера

§ 5. Умови забезпечення генерації

§ 6. Коефіцієнт корисної дії лазера та фактори, що його визначають

**Розділ 3. Розрахунок оптичних резонаторів**

§ 1. Основні параметри пасивного резонатора

§ 2. Розрахунок просторово-часових параметрів випромінювання

§ 3. Умова забезпечення генерації в лазері

§ 4. Втрати потужності в резонаторі

§ 5. Розрахунок добротності резонатора

§ 6. Оптимальний коефіцієнт корисних втрат в резонаторі

§ 7. Визначення оптимального коефіцієнта пропускання вихідного дзеркала лазера

методом каліброваних втрат

§ 8. Розрахунок критичного кута роз'юстування резонатора

§ 9. Розрахунок та проектування нестійких оптичних резонаторів

§ 10. Використання нестійких резонаторів

**Розділ 4. Розрахунок оптимальних розмірів активного елемента**

§ 1. Розрахунок оптимальної довжини активного елемента для газових і твердотільних лазерів

§ 2. Розрахунок оптимального поперечного розміру активного елемента твердотільного лазера

§ 3. Розрахунок оптимального поперечного розміру активного елемента газових лазерів

### **Розділ 5. Принципи частотної селекції в лазерах**

§ 1. Методи селекції поперечних типів коливань

§ 2. Методи селекції повздовжніх мод

§ 3. Методи перебудови по довжинах хвиль

### **Розділ 6. Газові лазери**

§ 1. Газові лазери: класифікація, характеристики, особливості конструкцій

§ 2. Газові розряди, що використовуються в газорозрядних лазерах та їх особливості

§ 3. Основні механізми здійснення інверсії в газовому розряді

§ 4. Імпульсний режим роботи газових лазерів

### **Розділ 7. Атомарні газові лазери**

§ 1. Гелій-неоновий лазер. Принцип дії, особливості та основні характеристики

§ 2. Розрахунок та вибір оптимальних параметрів та режимів

§ 3. Особливості конструкцій, вибір основних конструктивних параметрів. Матеріали конструкцій

§ 4. Конкуруючі переходи, способи селекції робочих довжин хвиль

§ 5. Тенденції розвитку атомарних лазерів

### **Розділ 8. Іонні лазери на інертних газах**

§ 1. Принцип дії, основні характеристики та параметри Ar-лазера

§ 2. Особливості конструкцій іонних лазерів: лазери з водяним охолодженням; малогабаритні металокерамічні іонні лазери з повітряним охолодженням

§ 3. Розрахунок та вибір основних конструктивних параметрів Ar-лазера та Kr-лазера

§ 4. Основні вузли та елементи конструкцій іонних лазерів. Матеріали конструкцій

§ 5. Особливості конструкцій аргонових лазерів, що працюють в інтегральному режимі, в режимі перебудови по довжинах хвиль, в одночастотному режимі

### **Розділ 9. Іонні лазери на парах металів**

§ 1. Принцип дії, основні характеристики та параметри He-Cd-лазера

§ 2. Розрахунок та вибір основних конструктивних параметрів та режимів

§ 3. Особливості та види конструкцій, основні конструктивні матеріали

§ 4. Тенденції розвитку іонних лазерів

### **Розділ 10. Молекулярні лазери**

§ 1. Принцип дії, основні характеристики та параметри CO<sub>2</sub>-лазерів

§ 2. Типи CO<sub>2</sub>-лазерів

§ 3. Відпаяні CO<sub>2</sub>-лазери: характеристики, особливості конструкцій, розрахунок та вибір оптимальних параметрів та режимів

§ 4. CO<sub>2</sub>-лазери з дифузійним охолодженням. Схеми компонування

§ 5. Способи накачування

§ 6. Типові конструкції, основні елементи та вузли конструкцій, конструктивні матеріали

§ 7. Неперервні швидкопроточні газорозрядні CO<sub>2</sub>-лазери. Принцип конвективного охолодження. Форми газового розряду

§ 8. Конструкції газорозрядних камер (ГРК) лазерів на постійному струмі. Конструкції газорозрядних камер швидкопроточних лазерів на змінному струмі

§ 9. Типові конструкції ГРК швидкопроточних лазерів з поздовжнім та поперечним прокачуванням

§ 10. ТЕА-лазери: принцип дії, особливості та основні характеристики. Типові конструкції

§ 11. Електроіонізаційний спосіб накачування. Види електроіонізаційних лазерів.

Електроіонізаційні CO<sub>2</sub>-лазери. Типові конструкції газорозрядних камер

### **Розділ 11. Оптичні елементи технологічних лазерів (ТЛ)**

- § 1. Характеристики, що визначають променеву стійкість дзеркал
- § 2. Основні матеріали, що використовуються для виготовлення дзеркал ТЛ
- § 3. Типові конструкції дзеркал. Охолодження
- § 4. Діелектричні покриття дзеркал технологічних лазерів
- § 5. Механізми руйнування ІЧ-вікон в ТЛ
- § 6. Типові та перспективні матеріали для прохідних оптичних елементів ТЛ
- § 7. Захисні та просвітлюючі покриття ІЧ-вікон

## **Розділ 12. Конструкції резонаторів технологічних лазерів**

- § 1. Особливості використання в ТЛ стійких резонаторів та їх розрахунок, особливості конструкцій
- § 2. Нестійкі резонатори ТЛ: особливості конструкцій, розрахунок
- § 3. Газостатичні та газодинамічні надзвукові вікна

## **Розділ 13. Газодинамічні лазери**

- § 1. Теплові методи створення інверсії
- § 2. Газодинамічний CO<sub>2</sub>-лазер
- § 3. Особливості конструкцій газодинамічних лазерів
- § 4. Шляхи підвищення ККД

## **Розділ 14. Твердотільні лазери**

- § 1. Особливості і види оптичного накачування. Схеми та конструкції практичної реалізації лампового накачування
- § 2. Основні активні середовища твердотільних лазерів. Типові конструкції активних елементів

## **Розділ 15. Лазер на рубіні**

- § 1. Основні характеристики та параметри
- § 2. Розрахунок активного елемента. Методика оцінки порогових та енергетичних характеристик
- § 3. Типові конструкції випромінювачів промислових рубінових лазерів

## **Розділ 16. Лазер на алюмоітрієвому гранаті з неодимом**

- § 1. Лазер на алюмоітрієвому гранаті з неодимом: основні характеристики та параметри
- § 2. Розрахунок активного елемента. Методика оцінки порогових та енергетичних характеристик
- § 3. Типові конструкції випромінювачів промислових лазерів

## **Розділ 17. Лазер на неодимовому склі**

- § 1. Основні характеристики та параметри
- § 2. Оцінка порогових та енергетичних характеристик
- § 3. Особливості конструкцій випромінювачів промислових лазерів

## **Розділ 18. Твердотільні лазери з діодним накачуванням**

- § 1. Твердотільні лазери з діодним накачуванням: особливості, переваги, способи. Розрахунок ККД
- § 2. Твердотільні лазери з діодним накачуванням малої і середньої потужності; високої потужності
- § 3. Волоконний лазер
- § 4. Одночастотні лазери з діодним накачуванням

## **Розділ 19. Напівпровідникові лазери**

- § 1. Напівпровідникові лазери: основні види, особливості, параметри та характеристики
- § 2. Матеріали для напівпровідникових лазерів
- § 3. Принцип дії та типові конструкції інжекційних лазерів
- § 4. Методика розрахунку основних параметрів і характеристик напівпровідникового інжекційного лазера
- § 5. Оптична структура інжекційних лазерів
- § 6. Вплив товщини активного шару на поріг генерації лазера та оптимізація його

хвилеводної структури

- § 7. Потужність випромінювання інжекційних лазерів та причини її обмеження
- § 8. Надійність інжекційних лазерів. Фізичні процеси поступової деградації лазерів
- § 9. Гетероструктури, гетеропереходи і гетеролазери
- § 10. Плівковий лазер з розподіленням зворотнім зв'язком

### Література

1. *Байбородин Ю.В.* Основы лазерной техники / Ю.В. Байбородин. – К. : Вища шк., 1981. – 408 с.
2. *Донин В.И.* Мощные ионные газовые лазеры / В.И. Донин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 207 с.
3. *Технологические лазеры* : справочник в 2 т. / под ред. Г.А. Абильситова. – М. : Машиностроение, 1991.
4. *Гринченко Б.И.* Газовые лазеры. Альтернативные модели / Б.И. Гринченко. – 2 изд., доп. и испр. – СПб. : Мир и Семья: Интерлайн, 2000. – 115 с.
5. *Голяев Ю.Д.* Лазеры на кристаллах и их применение / Ю.Д. Голяев, Г.М. Зверев. – М. : Радио и связь, 1994. – 311 с.

## Дисципліна: Прикладна оптика

---

### Розділ 1. Основні положення та закони геометричної оптики

- § 1. Поняття про оптичний прилад та оптичну систему
- § 2. Основні закони та положення геометричної оптики
- § 3. Показник заломлення
- § 4. Принцип Ферма
- § 5. Правила знаків
- § 6. Закони заломлення і відбивання
- § 7. Повне внутрішнє відбивання
- § 8. Заломлюючі та відбиваючі поверхні

### Розділ 2. Заломлення та відбивання променів

- § 1. Заломлення променів плоскою поверхнею
- § 2. Заломлення променів сферичною поверхнею
- § 3. Відбивання променів плоскою поверхнею
- § 4. Відбивання променів сферичною поверхнею
- § 5. Заломлення та відбивання променів несферичними поверхнями

### Розділ 3. Ідеальна оптична система

- § 1. Поняття про ідеальну оптичну систему
- § 2. Кардинальні елементи ідеальної оптичної системи та їх властивості
- § 3. Основні рівняння для ідеальної оптичної системи: рівняння Ньютона, Гауса, рівняння тангенсів
- § 4. Лінійне, кутове і повздожнє збільшення
- § 5. Побудова ходу променя через ідеальну оптичну систему. Побудова зображень
- § 6. Розрахунок ходу променя
- § 7. Багатокомпонентні оптичні системи
- § 8. Комплексний параграф до розділу «Ідеальна оптична система»

### Розділ 4. Оптика параксіальних та нульових променів

- § 1. Дія параксіальних променів
- § 2. Інваріант Гюйгенса-Гельмгольца
- § 3. Розрахунок ходу нульових променів. Формули лінзи. Формула дзеркала

### Розділ 5. Деталі оптичних систем

- § 1. Оптичні матеріали
- § 2. Лінзи
- § 3. Плоскопаралельні пластини



- § 4. Плоскі, сферичні та несферичні дзеркала
- § 5. Призми та клини
- § 6. Лінзи Френеля
- § 7. Аксикони
- § 8. Оптичні растри

## **Розділ 6. Обмеження пучків променів в оптичних системах**

- § 1. Види діафрагм
- § 2. Апертурна діафрагма. Вхідна і вихідна зіниці
- § 3. Вплив апертурної діафрагми на якість зображення
- § 4. Польова діафрагма. Лінійне і кутове поля системи
- § 5. Виньетування. Вхідне і вихідне вікна. Діючий отвір вхідної зіниці
- § 6. Зображення просторових предметів в оптичних системах. Глибина зображуваного простору. Різкість зображення

## **Розділ 7. Оптичний прилад як передавач енергії випромінювання**

- § 1. Енергетичні та фотометричні величини та їх одиниці
- § 2. Передача світлової енергії оптичним приладом
- § 3. Втрати світла в оптичному приладі. Коефіцієнт пропускання оптичної системи
- § 4. Освітленість зображення
- § 5. Світлосила оптичного приладу

## **Розділ 8. Геометричні аберації оптичних систем**

- § 1. Причини виникнення аберацій. Класифікація
- § 2. Загальні положення про розрахунок аберацій
- § 3. Аберації третього порядку
- § 4. Сферична аберація
- § 5. Кома
- § 6. Астигматизм і кривизна поля
- § 7. Дисторсія
- § 8. Абераційний розрахунок оптичних систем
- § 9. Сумування аберацій
- § 10. Оцінка якості зображення

## **Розділ 9. Хроматичні аберації оптичних систем**

- § 1. Хроматизм положення
- § 2. Хроматизм збільшення
- § 3. Розрахунок простих ахроматів

## **Розділ 10. Оптичні системи, що працюють сумісно з оком**

- § 1. Будова ока. Основні характеристики ока. Недоліки ока та їх корекція
- § 2. Лупа і її характеристики
- § 3. Оптична схема мікроскопу і його основні характеристики. Роздільна здатність мікроскопа
- § 4. Телескопічні системи. Схема телескопічної системи та її основні характеристики. Роздільна здатність. Корисне збільшення. Основні відомості про об'єктиви і окуляри телескопічних систем

## **Розділ 11. Фотографічний об'єктив**

- § 1. Основні характеристики
- § 2. Роздільна здатність
- § 3. Глибина зображуваного простору
- § 4. Визначення експозиції при фотографуванні
- § 5. Основні типи фотографічних об'єктивів

## **Розділ 12. Оптичні освітлювальні системи**

§ 1. Призначення та види освітлювальних систем

§ 2. Дзеркальні освітлювальні системи

§ 3. Лінзові конденсори

### **Розділ 13. Проекційні системи**

§ 1. Види та особливості проекційних систем

§ 2. Епіскопична і діаскопична оптична система

### **Розділ 14. Оптичні системи для лазерів**

§ 1. Властивості лазерного випромінювання

§ 2. Оптичні системи для концентрації випромінювання лазера

§ 4. Оптичні системи для зменшення розбіжності лазерного пучка

### **Література**

1. *Теория оптических систем* / Б.М. Бегунов, Н.П. Заказнов и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 432 с.
2. *Прикладная оптика* : учеб. пособие / Н.П. Заказнов и др. – СПб. : Лань, 2007. – 320 с.
3. *Апенко М.И.* Прикладная оптика / М.И. Апенко, А.С.Дубовик. – М. : Наука, 1982. – 352 с.
4. *Одарич В.А.* Основи теорії та методів розрахунку оптичних систем : у 2 ч. / В.А. Одарич. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2001, 2002.