

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Проректор з науково-педагогічної  
роботи  
  
« 30 » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**ЛАЗЕРНІ РЕЗОНАТОРИ**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ Другий магістерський рівень вищої освіти \_\_\_\_\_  
галузь знань \_\_\_\_\_ 10 Природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціальність \_\_\_\_\_ 105 Прикладна фізика та наноматеріали \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
освітня програма \_\_\_\_\_ Радіофізика і електроніка \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
вид дисципліни \_\_\_\_\_ За вибором \_\_\_\_\_  
(обов'язкова / за вибором)  
факультет \_\_\_\_\_ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2020 / 2021 навчальний рік



Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 17 ” червня 2020 року № 7


РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

завідувач кафедри квантової радіофізики, д.ф.-м.н., професор Вячеслав МАСЛОВ

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 16 ” червня 2020 року № 9

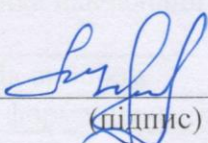
Завідувач кафедри квантової радіофізики

  
(підпис) (проф. Вячеслав МАСЛОВ)  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 17 ” червня 2020 року № 7

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

  
(підпис) (проф. Леонід ЧОРНОГОР)  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ Лазерні резонатори” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

магістр  
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)  
спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали  
освітня програма Радіофізика і електроніка  
спеціалізації \_\_\_\_\_

### 1. Опис навчальної дисципліни

- 1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є забезпечення відповідним сучасним вимогам знань студентів про процеси формування когерентного випромінювання в лазерних резонаторах і методи їхнього аналізу; вивчення факторів, що визначають просторову структуру лазерного випромінювання.
- 1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є дати рекомендації що до вибору типу і параметрів резонаторів; розглянуті різні методи впливу на характеристики випромінювання шляхом видозміни резонаторів і внесення в них додаткових елементів.
- 1.3. Кількість кредитів – 9
- 1.4. Загальна кількість годин – 270

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
76 год.
Практичні, семінарські заняття
–
Лабораторні заняття
–
Самостійна робота
194 год.
Індивідуальні завдання
–
Контрольні роботи – 2
Курсова робота

- 1.6. Заплановані результати навчання
- Як результат навчання студенти повинні:
- : знати: типи, характеристики і методи розрахунку основних видів лазерних резонаторів;
- вміти: здійснювати вибір, розрахунки параметрів і характеристик лазерних резонаторів.

Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач.

Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем

## **2. Тематичний план навчальної дисципліни**

### **РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ В ВІДКРИТИХ РЕЗОНАТОРАХ**

#### **Тема 1. Відкриті резонатори. Початок теорії.**

Спонтанне і змушене випромінювання, поглинання. Принцип роботи лазера. Умова забезпечення генерації в лазері. Резонансні частоти відкритого резонатора. Неможливість використання об'ємних резонаторів в оптичному діапазоні. Перехід від об'ємного резонатора до відкритого. Основні відмінності відкритого резонатора від об'ємного. Частоти плоскопаралельного відкритого резонатора. Поперечні й поздовжні моди відкритих резонаторів, їхня графіка. Добротність і види втрат відкритого резонатора. Дифракційні втрати. Число Френеля. Основні параметри і види відкритих резонаторів.

#### **Тема 2. Геометрооптичний підхід до вивчення відкритих резонаторів.**

Умова стійкості для лінзового хвилеводу. Стійкі і нестійкі відкриті резонатори; діаграма стійкості. Матриця передачі луча у вільному просторі. Закон ABCD. Матриці перетворення луча в лінзі, на ділянці вільного простору - лінза. Матриця перетворення луча при відбитті від дзеркала. Матриця передачі луча для подвійного проходу резонатора.

#### **Тема 3. Хвильовий підхід до вивчення відкритих резонаторів.**

Дифракційний інтеграл Гюйгенса-Френеля. Інтегральне рівняння Фокса-Ли. Власні моди і власні значення. Відкритий резонатор зі сферичними дзеркалами. Частотний спектр резонатора. Конфокальний резонатор. Частотний спектр резонатора. Еквівалентні резонатори. Відкритий резонатор, еквівалентний резонатору із внутрішньою лінзою. Відкритий резонатор з діафрагмою.

### **РОЗДІЛ 2. ГАУСОВИ ПУЧКИ. НЕСТІЙКИ І ХВИЛЕВІДНИ РЕЗОНАТОРИ**

#### **Тема 1. Гаусові пучки у вільному просторі і у резонаторі.**

Просторова форма гаусова пучка. Поширення гаусова пучка у вільному просторі. Радіус кривизни поверхні постійної фази гаусова пучка. Основні співвідношення для параметрів гаусових пучків, комплексні параметри гаусова пучка. Гаусов пучок як рішення параболічного рівняння. Узагальнення параболічного рівняння на моди високих порядків. Перетворення гаусова пучка у вільному просторі. Лінза як фазовий коректор. Перетворення гаусова пучка в лінзі. Перетворення гаусова пучка в лінзовій системі. Закон ABCD для світлових променів і гаусових пучків. Самовідтворення гаусова пучка при відбитті від сферичного дзеркала. Гаусов пучок у резонаторі (більші апертури дзеркал). Симетричний резонатор. Гаусов пучок у резонаторі (більші апертури дзеркал). Несиметричний резонатор. Гаусов пучок у резонаторі (кінцева апертура дзеркал). Область існування "гаусових" резонаторів.

## Тема 2. Нестійки резонатори.

Гомоцентричність пучка, виведеного з нестійкого резонатора. Втрати в нестійкому резонаторі по геометрооптичної теорії. Застосування закону ABCD до нестійких резонаторів. Переваги нестійких резонаторів.

## Тема 3. Хвилевідні резонатори.

Порожнистий плоский діелектричний шар (геометрооптичний підхід). Порожнистий діелектричний хвилевід круглого поперечного переріза (строгий хвильовий підхід Стреттона). Наближення Маркатили-Шмельтцера. Типи коливань порожнистого діелектричного хвилеводу. Види порожніх круглих і прямокутних хвилеводів. Порожнистий металодіелектричний хвилевід прямокутного поперечного переріза. Класи мод хвилевідного резонатора. Ітераційний і матричний підходи до розрахунку характеристик хвилевідного резонатора. Втрати на узгодження хвилеводу із дзеркалом у хвилевідному резонаторі.

## Тема 4. Принципи кутової і частотної селекції мод.

Різні типи кутової і частотної селекції. Застосування ширококутових поглинаючих фільтрів і дисперсійних елементів. Загальні зауваження про селекцію подовжніх мод. Резонатори з анізотропними елементами. Нелінійно-оптичний метод частотної селекції.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
Л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Формування поля випромінювання в відкритих резонаторах.</b>						
Тема 1. Відкриті резонатори. Початок теорії.	28	8				20
Тема 2. Геометрооптичний підхід до вивчення відкритих резонаторів.	30	10				20
Тема 3. Хвильовий підхід до вивчення відкритих резонаторів.	40	10				30
Разом за розділом 1	<b>98</b>	<b>28</b>				<b>70</b>
<b>Розділ 2. Гаусови пучки. Нестійки і хвилевідні резонатори.</b>						
Тема 4. Гаусови пучки у вільному просторі і у резонаторі.	54	14				40
Тема 5. Нестійки резонатори.	52	12				40
Тема 6. Хвилевідні резонатори.	44	12				30
Тема 7. Принципи кутової і частотної селекції мод.	22	12				14
Разом за розділом 2	<b>172</b>	<b>48</b>				<b>124</b>
<b>Усього годин</b>	<b>270</b>	<b>76</b>				<b>194</b>

#### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Семінарських (практичних, лабораторних) занять не заплановано.

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до лекційних занять	Кількість годин
1	Тема 1. Випромінювання в резонаторе.	30
2	Тема 2. Побудова хвильового поля по променевій картині.	30
3	Тема 3. Чисельні методи в задачах дифракційної оптики лазерів.	20
4	Тема 4. Гаусови пучки – рішення рівнянь Максвелла. Гаусов пучок із двома системами головних осей	40
5	Тема 5. Нестійки резонатори с гаусовими дзеркалами.	30
6	Тема 6. Деякі застосування хвилевідних лазерів.	22
7	Тема 7. Задачі керування параметрами лазерного випромінювання.	22
	Разом	<b>194</b>

#### 6. Індивідуальні завдання

Курсова робота.

#### 7. Методи контролю

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, що складаються з трьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання; 3) розв'язання типових задач за темою, що вивчається. Питання для теоретичного опитування, приклади розв'язання типових завдань, завдання для самостійної роботи студентів наведені в рекомендованій літературі по даному курсу. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій та практик.

Поточний контроль включає самостійну роботу, виконання домашніх завдань (10 балів).

Після вивчення кожного розділа курсу проводиться письмова контрольна робота, яка оцінюється в відповідних балах. В рамках курсу студенти виконують курсову роботу (40 балів).

Підсумковий контроль – екзамен (60 балів).

#### 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота							Разом	Екз.	Сума			
Розділ 1			КР	Розділ 2				КР	Курсова робота	40	60	100
T1	T2	T3		T4	T5	T6	T7					
1	2	2		1	1	2	1					
5			5	5				5	20			

T1, T2 ... – теми розділів.

КР - контрольна робота, передбачена навчальним планом

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 50 % можливих балів за тему. Студент допускається до екзамену, якщо всі розділи зараховані. Студент не допускається до екзамену, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до екзамену з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до екзамену шляхом виправлення нульових оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей установлюється викладачами, котрі проводять відповідні заняття і контрольні заходи.

### КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1. Виконання кожного завдання екзаменаційного білета оцінюється балом за таблицею

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недобросовісність	
2	1-10	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	11-20	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	21-30	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	31-40	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	41-50	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	51-60	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка екзамена за 60-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (П1+П2+П3)/3 ,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білету.

### 9. Рекомендована література

#### Основна література

1. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981. – 440 с.
2. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. – М.: Наука. Физ-матлит, 1990. – 264 с.
3. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. – М.: Физматлит, 2003. – 320 с.
4. Очкин В.Н. Волноводные газовые лазеры. – М.: Знание, 1988. – 64 с.

#### **Допоміжна література**

1. Ищенко Е.Ф. Открытые оптические резонаторы: Некоторые вопросы теории и расчета. – М.: Радио и связь, 1980. – 208 с.
2. Ю.А.Ананьев. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. – М.: Наука. Физматлит, 1979. – 328 с.
3. Баллошин Ю.А., Крылов К.И., Шарлай С.Ф. Применение ЭВМ при разработке лазеров. – Л.: Машиностроение, 1989. – 236 с.
4. Мэйтлэнд А., Данн М. Введение в физику лазеров. – М.:Наука, 1978. – 408 с.
5. Хакен Г. Лазерная светодинамика. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
6. Елкин Н.Н., Напартович А.П. Прикладная оптика лазеров. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1989. – 183 с.
7. Воронцов М.А., Корябин А.В., Шмальгаузен В.И. Управляемые оптические системы. – М.: Наука, 1988. – 272 с.

#### **10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

1. Энциклопедия лазерной техники и технологии  
<http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>
2. Библиотека книг по лазерам <http://gen.lib.rus.ec/>