

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики



**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Проректор з науково-педагогічної роботи

« 30 » червня 2020 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРІВ**

(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

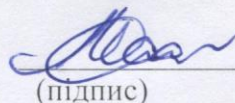
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

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

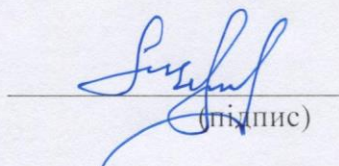
  
(підпис)

(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 “**Вимірювання характеристик лазерів**” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

магістр  
(назва рівня вищої освіти)

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 загальні методи і засоби вимірювань енергетичних і спектральних параметрів и характеристик лазерного випромінювання.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є вивчити фізичні принципи, покладені в основу побудови вимірювальних пристроїв лазерів. Розглянути також питання метрологічного забезпечення цих вимірювань.

1.3. Кількість кредитів – 8

1.4. Загальна кількість годин – 240

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й
Семестр
3-й
Лекції
48 год.
Практичні, семінарські заняття
–
Лабораторні заняття
24 год.
Самостійна робота
168 год.
Індивідуальні завдання
–
Контрольні роботи – 2

1.6. Заплановані результати навчання

знати: параметри і характеристики лазерного випромінювання, основні фізичні принципи, покладені в основу вимірювальних лазерних систем;

вміти: здійснювати розрахунки і вимірювання енергетичних і спектральних параметрів і характеристик лазерного випромінювання

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. ВРЕМЕННА ЕНЕРГЕТИЧНА ЛАЗЕРОМЕТРІЯ**

#### **Тема 1. Параметри й характеристики лазерів. Види і методи прямих лазерних вимірювань.**

Сучасні тенденції в методах і засобах вимірювань параметрів і характеристик лазерного випромінювання. Параметри і характеристики лазерів. Метод безпосередньої оцінки і диференціальний метод порівняння з мірою в прямих лазерних вимірюваннях. Нульовий метод порівняння з мірою в прямих лазерних вимірах. Метод заміщення в прямих лазерних вимірюваннях. Енергетичні параметри лазерів. Структурна схема і основні характеристики засобів вимірювань енергетичних параметрів лазерного випромінювання.

#### **Тема 2. Тепловий принцип, засоби вимірювань енергетичних параметрів і характеристик лазерного випромінювання на його основі.**

Калориметрична система. Класифікація калориметрів. Калориметри змінної температури. Калориметри постійної температури. Болметри і термоелементи для вимірювання енергетичних параметрів лазерів. Піроелектричні і піромагнітні приймачі для вимірювань енергетичних параметрів лазерів.

#### **Тема 3. Фотоелектричний і пондеромоторний принципи. Вимірювання форми, максимальної потужності імпульсів.**

Фотоприймачі для вимірювання енергетичних параметрів лазерів. Пондеромоторні приймачі для вимірювання енергетичних параметрів лазерів. Методи і прилади для вимірювання форми оптичного імпульсу. Методи вимірювання максимальної потужності імпульсів.

### **РОЗДІЛ 2. ПРОСТОРОВО-ЕНЕРГЕТИЧНА І СПЕКТРАЛЬНА ЛАЗЕРОМЕТРІЯ**

#### **Тема 1. Вимірювання просторово-енергетичних параметрів лазерного випромінювання.**

Використання фотографічного, ЭОП і теплових методів для вимірювання ОРПЭ (ОРПМ). Просторові аналізатори для вимірювання ОРПЭ (ОРПМ). Методи вимірювання расходимости лазерного випромінювання. Ослабителі енергетичних характеристик лазерного випромінювання. Модулятори просторово-енергетичних характеристик лазерного випромінювання.

#### **Тема 2. Інтерференційний і гетеродинний принципи вимірювань спектрально-частотних параметрів лазерного випромінювання.**

Схеми, принципи роботи і характеристики 2-х променевого та багатопроменевих інтерферометрів. Вимірювання спектральних характеристик лазерного випромінювання інтерференційними методами. Вимірювання спектральних характеристик лазерного випромінювання методом прямого оптичного гетеродинавання. Вимірювання спектральних характеристик лазерного випромінювання з використанням зовнішнього лазера-гетеродина.

### **Тема 3. Вимірювання довжини хвилі лазерного випромінювання.**

Вимірювання довжин хвиль безперервних лазерів методами багатопробеневої інтерферометрії. Вимірювання довжин хвиль безперервних лазерів статичним і динамічним методами двопробеневої інтерферометрії. Вимірювання довжин хвиль імпульсних лазерів методами призменної і дифракційної спектрографії.

### **Тема 4. Вимірювання частоти лазерного випромінювання.**

Частотні характеристики лазерного випромінювання. Вимірювання абсолютного значення частоти лазера методом переносу. Вимірювання абсолютного значення частоти лазера методом інтерференційного перетворення. Вимірювання абсолютного значення частоти лазера інтерференційним методом порівняння довжин хвиль. Вимірювання відносної нестабільності частоти лазера.

## **РОЗДІЛ 3. КОРЕЛЯЦІЙНА ЛАЗЕРОМЕТРІЯ**

### **Тема 1. Вимірювання поляризації лазерного випромінювання.**

Типи поляризацій, способи представлення поляризаційних параметрів лазерного випромінювання. Класифікація поляризаційних приладів. Типи поляризаційних аналізаторів для вимірювань поляризації безперервних лазерів. Методики вимірювань поляризації випромінювання безперервних лазерів. Поляриметри для вимірювань ступеня поляризації і визначення положення площини поляризації безперервних лазерів. Аналіз поляризації випромінювання імпульсних лазерів. Методи вимірювань параметрів Стокса.

### **Тема 2. Вимірювання когерентності лазерного випромінювання.**

Параметри просторової й тимчасової когерентності. Інтерференційний метод виміру просторової когерентності. Поляризаційний метод виміру просторової когерентності. Інтерференційний і голографічний методи виміру тимчасової когерентності.

### **Тема 3. Вимірювання фазового фронту лазерного випромінювання.**

Фазові вимірювання з використанням лінзового аналізатора. Алгоритм Гершберга-Секстона. Фазові вимірювання з використанням фільтра Цернике і нелінійного аналізатора. Інтерференційні методи у фазових вимірюваннях.

## **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. Временна енергетична лазерометрія.</b>						
Тема 1. Параметри й характеристики лазерів. Види і методи прямих лазерних вимірювань.	14	4				10
Тема 2. Тепловий принцип, засоби вимірювань енергетичних параметрів і	32	8		4		20

характеристик лазерного випромінювання на його основі.						
Тема 3. Фотоелектричний і пондеромоторний принципи. Вимірювання форми максимальної потужності імпульсів	28	8				20
Разом за розділом 1	<b>74</b>	<b>20</b>		<b>4</b>		<b>50</b>
<b>Розділ 2. Просторово-енергетична і спектральна лазерометрія.</b>						
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Вимірювання просторово-енергетичних параметрів лазерного випромінювання.	32	4		8		20
Тема 2. Інтерференційний і гетеродинний принципи вимірювань спектрально-частотних параметрів лазерного випромінювання	24	4				20
Тема 3. Вимірювання довжини хвилі лазерного випромінювання.	23	4		4		15
Тема 4. Вимірювання частоти лазерного випромінювання.	23	4		4		15
Разом за розділом 2	<b>102</b>	<b>16</b>		<b>16</b>		<b>70</b>
<b>Розділ 3. Кореляційна лазерометрія</b>						
Тема 1. Вимірювання поляризації лазерного випромінювання.	24	4		4		16
Тема 2. Вимірювання когерентності лазерного випромінювання.	20	4				16
Тема 3. Вимірювання фазового фронту лазерного випромінювання.	20	4				16
Разом за розділом 3	<b>64</b>	<b>12</b>		<b>4</b>		<b>48</b>
<b>Усього годин</b>	<b>240</b>	<b>48</b>		<b>24</b>		<b>168</b>

#### 4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження CO <sub>2</sub> -лазера з неоднорідним дзеркалом	4
2	Вимірювання характеристик типів коливань хвилевидного	4

	лазерного резонатора.	
3	Дослідження субміліметрового лазера з комбінованим хвилевидним резонатором.	4
4	Дослідження субміліметрового лазера з модовим селектором.	4
5	Дослідження CO <sub>2</sub> –лазера з хвильовим селектором	4
6	Вимірювання кутової розбіжності випромінювання субміліметрового лазера	4
	Разом	<b>24</b>

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання лабораторних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 1. Сучасні тенденції в методах і засобах вимірювань параметрів і характеристик лазерного випромінювання.	10
2	Розділ 1. Тема 2. Система метрологічного забезпечення засобів вимірювання енергетичних параметрів лазерного випромінювання.	20
3	Розділ 1. Тема 3. Оптико-акустичні і дилатометричні приймачі лазерного випромінювання.	20
4	Розділ 2. Тема 1. Метрологічне забезпечення єдності вимірювання просторово-енергетичних параметрів лазерного випромінювання	20
5	Розділ 2. Тема 2. Метрологічне забезпечення єдності вимірювання спектрів лазерів	20
6	Розділ 2. Тема 3. Вимірювання довжин хвиль імпульсних лазерів	15
7	Розділ 2. Тема 4. Метрологічне забезпечення єдності вимірювання відносної нестабільності частоти лазера.	15
8	Розділ 3. Тема 1. Метрологічне забезпечення єдності вимірювання поляризації лазерного випромінювання.	16
9	Розділ 3. Тема 2. Метрологічне забезпечення єдності вимірювання когерентності лазерного випромінювання.	16
10	Розділ 3. Тема 3 Метрологічне забезпечення єдності вимірювання фазового фронту лазерного випромінювання	16
	Разом	<b>168</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

## 7. Методи контролю

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, та з лабораторних занять, що складаються з трьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання. 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 роботу на лекційних, лабораторних заняттях і самостійну роботу (40 балів),

Після вивчення 1 розділа курсу та 2-3 розділів курсу проводиться письмова контрольна робота, яка оцінюється в відповідних балах.

Підсумковий контроль – екзамен (40 балів).

## 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота											Екз.	Сума		
Розділ 1			КР	Розділ 2				Розділ 3			КР	Разом		
T1	T2	T3		T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10				
4	10	6		3	3	3	2	3	3	3				
20			10	20				10	60	40	100			

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.

## 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	1-8	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	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки



5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	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 формулі і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка екзамена за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3 ,$$

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

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Основы оптической радиометрии / Под ред. проф. А.Ф.Котюка. М.: Физматлит, 2003, 544 с.
2. Иващенко П.А., Калинин Ю.А., Морозов Б.Н. Измерение параметров лазеров. М.: Изд-во стандартов, 1982, 168 с.
3. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения/ Под ред.А.Ф.Котюка. М.: Радио и связь, 1981, 288 с.
4. Измерение спектрально-частотных и корреляционных параметров и характеристик лазерного излучения/ Под ред.А.Ф.Котюка и Б.М.Степанова. М.: Радио и связь, 1982, 272 с.
5. Свич В. А., Маслов В. А., Дегтярев А. В. Измерение характеристик лазеров. Методические указания к лабораторным работам. Харьков: Изд-во ХНУ имени В.Н.Каразина, 2009, 56 с.

### Допоміжна література

1. Технологические лазеры. Под ред. Г.А.Абильситова. Справочник в 2-х томах. М.: Машиностроение, 1991 г., т.1, 432 с., т.2, 544 с.
2. Ишанин Г.Г. Источники и приемники излучения. М.: Высшая школа, 1991, 240 с.
3. Загорский Я.Т., Котюк А.Ф. Основы метрологического обеспечения лазерной энергетической фотометрии. М.: Изд-во стандартов, 1990.
4. Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах: Методы и техника / Под ред. Р.А.Валитова и Б.И.Макаренко. М.: Радио и связь, 1984, 206 с.
5. Зубов В.А. Методы измерения характеристик лазерного излучения. М.: Изд-во Наука, 1973, 192 с.
6. Хирд Г. Измерение лазерных параметров. М.: Мир, 1970, 540 с.
7. Валитов Р.А. и др. Измерение характеристик оптических квантовых генераторов. М.: Изд-во стандартов, 1969, 184 с.

8. Техника субмиллиметровых волн / Под ред. Р.А.Валитова. М.: Сов.радио, 1969, 480 с.

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

1. Енциклопедія лазерної техніки і технології  
<http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>
2. Бібліотека книг з лазерів  
<http://gen.lib.rus.ec/>