

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

\_\_\_\_\_ 2016 р.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_

Робоча програма навчальної дисципліни

**Вступ до фотоніки**

напря́м \_\_\_\_\_ 6.040204 – Прикладна фізика \_\_\_\_\_  
(шифр, назва напрямку)

спеціальність 8.04020402 Радіофізика і електроніка \_\_\_\_\_  
(шифр, назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_ квантова радіофізика та фотоніка \_\_\_\_\_

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2016 / 2017 навчальний рік

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

Протокол від “ 21 ” червня 2016 року № 6

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ – Коваленко Назар Олегович, к.ф.-м.н., доцент кафедри квантової радіофізики

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 21 ” червня 2016 року № 8

Завідувач кафедри квантової радіофізики

\_\_\_\_\_ проф. Маслов В.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Протокол від “ 16 ” червня 2016 року № 6

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

\_\_\_\_\_ (проф. Черногор Л. Ф.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “\_ **Вступ до фотоніки** \_” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки  
бакалавра

Напряму  
6.04204 –прикладна фізика

Спеціальності - радіофізика та електроніка

Спеціалізації - квантова радіофізика та фотоніка

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Знайомство студентів, що спеціалізуються галузі квантової радіофізики з фундаментальними явищами, що лежать в основі генерації, реєстрації та перетворення оптичного випромінювання.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Знайомство з основами фізики взаємодії квантових систем з електромагнітними полями, принципами роботи основних типів лазерів та фізичними властивостями матеріалів фотоніки.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 108

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
2016-й	
Семестр	
5-й	
Лекції	
32 год.	
Практичні, семінарські заняття	
–	
Лабораторні заняття	
16 год.	
Самостійна робота	
60 год.	
Індивідуальні завдання	

#### 1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Розуміти фізичні принципи генерації, реєстрації та перетворення оптичного випромінювання, роботи лазерів, квантових підсилювачів та приймачів оптичного випромінювання, вміти вірно вибирати їх параметри для різноманітних застосувань.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.

**Тема 1. Введення. Історія розвитку лазерів.** Предмет і основні поняття фотоніки, квантової електроніки та лазерної техніки. Від мазера до сучасних систем. Історія створення мазера, принцип дії першого молекулярного генератора на аміаку. Історія створення лазерів: пристрій першого рубінового лазера Меймана, подальший розвиток лазерів і лазерної техніки. Розвиток напівпровідникової електроніки, нелінійної оптики й оптичної електроніки. Розвиток лазерів на Україні. Нобелівські та інші премії в галузі лазерної фізики.

**Тема 2. Особливості, практичне використання, класифікація джерел когерентного випромінювання та перспективи розвитку оптичних систем.** Особливості оптичної та квантової електроніки й параметрів лазерів (частота, довжина хвилі, тривалість, енергія, потужність). Галузі застосування лазерів. Передача інформації по скловолокну (лазерний зв'язок). Лазерна обробка матеріалів (технологічні лазери для обробки матеріалів, різання, зварювання, обробка поверхонь, маркування, виготовлення напівпровідникових елементів). Лазери в медицині й біології. Лазерний термоядерний синтез. Лазери в наукових дослідженнях. Голографія й інтерферометрія. Світлорозсіювання для вимірювань швидкості потоку. Лазери в приладах і встаткуванні (лідари, юстування, зчитування штрих-кодів, зберігання даних, лазерні принтери). Терагерцова спектроскопія. Лазерна зброя. Класифікація квантових приладів, типи лазерів. Перспективи застосування оптичних систем на основі квантових генераторів.

**Тема 3. Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.** Енергетичні стани квантових систем. Фрагменти теорії атома Бору. Атомні квантові числа. Рівні енергії атома водню. Тонка й надтонка структура термів. Воднеподібні атоми й іони. Гігантські (рідбергівські) атоми, молекули. Богатоелектронні атоми. Принцип заповнення, мультиплетність і позначення термів. Електронні, коливальні й обертальні спектри молекул. Інверсійний спектр молекули аміаку -  $\text{NH}_3$ . Енергетичні рівні у твердотільних лазерах.

**Тема 4. Однорідне й неоднорідне розширення спектральних ліній. Фізичні механізми розширення.** Природне розширення. Спонтанне випромінювання. Безвипромінювальні переходи. Ударне розширення спектральних ліній. Фазозбивні зіткнення, їхня фізична модель. Розширення спектральних ліній через скінченність часу взаємодії з полем. Пролітне розширення. Неоднорідне розширення ліній через ефект Доплера. Повне розширення лінії, контур Фойгта. Розширення за рахунок впливу внутрішніх (внутрішньокристалічних) і зовнішніх електричного й магнітного полів. Розширення ліній через неоднорідність полів у середовищах.

**Тема 5. Фізичні особливості лазерного випромінювання.** Математичний запис квазімонохроматичного випромінювання. Поляризація. Ступінь поляризації. Монохроматичність. Спектр випромінювання безперервного лазера. Зв'язок тривалості імпульсу когерентного випромінювання та ширини лінії. Спектр випромінювання імпульсного лазера. Часова і просторова когерентність. Кореляційна функція. Вимір часової когерентності в інтерферометрії Майкельсону. Час кореляції. Просторова когерентність безперервного

випромінювання. Інтерферометр Юнга. Спрямованість. Розбіжність плоского й гаусового пучків. Розбіжність частково-когерентного пучка. Спекл-картина. Яскравість. Тривалість імпульсу випромінювання. Генерація світлових імпульсів малої тривалості. Потужність, ефективність і ККД лазерного випромінювання.

## **Розділ 2. Принципи функціонування джерел оптичного випромінювання (лазерів) та способів реєстрації, їх застосування.**

**Тема 6. Принципи функціонування лазера.** Спонтанне й змушене випромінювання. Поглинання. Дворівневе середовище й інверсія населеності. Принцип роботи лазера. Розподіл Больцмана, негативна температура. Резонатор. Поздовжні й поперечні моди. Гранична умова генерації лазера. Лазерна генерація. Багаторівневі схеми накачування. Насичення посилення. Стаціонарна генерація лазерного випромінювання. Швидкісні рівняння.

**Тема 7. Основні типи підсилювальних середовищ і лазерів.** Твердотільні лазери. Лазери на рубіні й ітрій-алюмінієвому гранаті (Nd: ІАГ- лазер). Напівпровідникові лазери. Газові лазери. Газові ОКГ на атомних переходах. Лазер на суміші атомів неону й гелію (He-Ne -лазер). Лазер на парах міді. Лазер на переходах іонів аргону. Молекулярні лазери. Лазери інфрачервоного діапазону хвиль на обертально-коливальних переходах молекул. CO<sub>2</sub>-лазери як приклад. Твердотільні лазери ІЧ діапазону з широкою смугою перестроювання на електронно-коливальних переходах. Газорозрядні молекулярні лазери. Субміліметрові молекулярні лазери з оптичним накачуванням. Молекулярні лазери видимого й УВ - діапазонів довжин хвиль на електронних переходах молекул (азотний і ексимерні лазери.). Рідинні лазери. Молекулярні лазери на барвниках.

**Тема 8. Приймачі оптичного випромінювання.** Перетворення оптичного випромінювання та класифікація фотоприймачів. Спектральні діапазони чутливості. Швидкодія та смуга пропускання. Реєстрація ІЧ випромінювання: болометри, напівпровідникові структури, up-конверсія. Приймачі ТГц-випромінювання. Способи реєстрації рентгенівського та гама-випромінювання. Приклади практичного застосування.

**Тема 9. Лазери в медицині, екології та промисловості.** Оптична томографія. Оптичний скальпель. Лазерна ангіопластика. Застосування лазерів в офтальмології при лікуванні очних хвороб. Лідари. Дистанційний вимір концентрації газів і домішок. Гетеродинна схема прийому. Нагрівання речовини лазерним імпульсом. Безперервний і імпульсний режими. Тепловий режим. Плазмовий режим. Лазерна термообробка матеріалів. Вплив тривалості, інтенсивності, густини енергії. Лазерне зварювання. Різання. Свердління.

## **Розділ 3. Матеріали для фотоніки.**

**Тема 10. Кристалічні середовища.** Кристали для генерації оптичного випромінювання: структура, досконалість, оптичні та діелектричні властивості. Нелінійно-оптичні кристали, необхідні умови для нелінійного перетворення. Оптичні волокна, структура, робочі спектральні діапазони. Активовані волокна для підсилення та генерації.

**Тема 11. Перспективні матеріали фотоніки.** Фазова автомодуляція в оптичних волокнах. Генерація суперконтинуума. Лазерні джерела для генерації суперконтинуума. Метаматеріали, властивості та практичні застосування.

### 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. Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.</b>						
Тема 1. Введення. Історія розвитку лазерів.	6	2				4
Тема 2. Особливості, практичне використання, класифікація джерел когерентного випромінювання та перспективи розвитку оптичних систем	12	4		4		4
Тема 3. Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.	8	4				4
Тема 4. Однорідне й неоднорідне розширення спектральних ліній. Фізичні механізми розширення.	6	2				4
Тема 5. Фізичні особливості лазерного випромінювання.	8	4				4
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>40</b>	<b>16</b>		<b>4</b>		<b>20</b>
<b>Розділ 2. Принципи функціонування джерел оптичного випромінювання (лазерів) та способів реєстрації, їх застосування.</b>						
Тема 6. Принципи функціонування лазера.	8	4				4
Тема 7. Основні типи підсилювальних середовищ і лазерів.	12	4		4		4
Тема 8. Приймачі оптичного випромінювання.	10	2		4		4
Тема 9. Лазери в медицині, екології та промисловості	5	2				3
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>35</b>	<b>12</b>		<b>8</b>		<b>15</b>
<b>Розділ 3. Матеріали для фотоніки.</b>						
Тема 10. Кристалічні середовища	10	2		4		4
Тема 11. Перспективні матеріали фотоніки	5	2				3
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>15</b>	<b>4</b>		<b>4</b>		<b>7</b>

<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>32</b>		<b>16</b>		<b>42</b>
-------------------------	-----------	-----------	--	-----------	--	-----------

#### 4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	YAG-Nd - лазер	4
2	ZnSe:Cr -лазер з широкою смугою перестроювання	4
3	Визначення довжини хвилі генерації та генерація гармонік оптичних лазерів	4
4	Дисперсійні елементи в лазерних резонаторах	4
	Разом	<b>16</b>

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Тема 1. Введення. Історія розвитку лазерів	4
2	Тема 2. Особливості, практичне використання, класифікація джерел когерентного випромінювання та перспективи розвитку оптичних систем	4
3	Тема 3. Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем	4
4	Тема 4. Фізичні механізми розширення спектр. ліній	4
5	Тема 5. Фізичні особливості лазерного випромінювання	4
6	Тема 6. Принципи функціонування лазера	4
7	Тема 7. Типи підсилювальних середовищ	4
8	Тема 8. Приймачі оптичного випромінювання	4
9	Тема 9. Лазери в медицині, екології та промисловості	3
10	Тема 10. Кристалічні середовища.	4
11	Тема 11. Перспективні матеріали фотоніки.	3
	Разом	<b>42</b>

#### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

#### 7. Методи контролю

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, проведенням лабораторних робіт, а також самостійною роботою.

## 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота											Сума
Розділ 1					Розділ 2				Розділ 3		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	100

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Екзамен	Сума
Розділ 1				Розділ 2		Лабораторні роботи	Разом		
T1	T2	T3	T4	T5	T6				
7	8	8	7	8	7	15	60	40	100

## Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 11. Рекомендована література

### Основна література

1. О.Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990, 560 с.
2. Ю.Айхлер, Г.И.Айхлер. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М.: Техносфера, 2008, 438 с.
3. В.А.Малышев Основы квантовой электроники и лазерной техники. М.: Высшая Школа, 2005, 543 с.
4. Ю.В.Байбородин. Основы лазерной техники. К.: Вища школа, 1988, 383 с.
5. А.С.Борейшо. Лазеры: Устройство и действие. СПб: Мех. ин-т, 1992, 215 с.
6. Б.Ф.Фёдоров. Лазеры. Основы устройства и применение. М.: ДОСААФ, 1988, 190 с.
7. А.Н.Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. М.: Высшая школа, 2001, 573 с.
8. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988, 322 с.

### Допоміжна література

1. И.М.Дунская. Возникновение квантовой электроники. М.: Наука, 1974, 160 с
2. Ч.Таунс. Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул. УФН, 1966, т.88, №3, с.461-483.
3. А. М.Прохоров. Квантовая электроника. УФН, 1965, т.85, №4, с.599-604.



4. М.А.Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Наука, 1962, 286 с.
5. Э.В.Шпольский. Атомная физика. т.1 М.: Наука, 1974. 575 с.
6. Ч.Таунс, А.Шавлов. Радиоспектроскопия. М.: Изд-во иностр. лит., 1959, 756 с.
7. И.И.Кондиленко, П.А.Коротков. Введение в атомную спектроскопию. К.: Вища школа, 1976, 304 с.
8. С.Ф.Ахманов, С.Ю.Никитин. Физическая оптика. М.: Наука, 2004, 656 с.
9. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: Наука, 1990, 512 с.
10. Е.В.Бакланов, П.В.Покасов. Оптические стандарты частоты и фемтосекундные лазеры. Квантовая электроника, т.33, №5, 2003, с. 383-398.
11. А.В.Беликов, А.В.Скринник. Лазерные биомедицинские технологии. ч.1, СПб: СПбГУ, 2008, 116 с.

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