

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Перший проректор

\_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р.

Програма навчальної дисципліни

КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА

(назва навчальної дисципліни)

спеціальність (напря́м) \_ 6.050801 - мікро-та наноелектроніка

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

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
професор кафедри квантової радіофізики, д.ф. - м.н. Баскаков Олег Ігорови

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 “Квантова електроніка” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

бакалавр

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напряму) 6.050801 - мікро-та наноелектроніка

спеціалізації

---

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів сучасного уявлення про напрямки розвитку квантової електроніки, принципи функціонування високотехнологічних пристроїв квантової електроніки, їх особливостей та відмінностей від класичних аналогів, а також областей застосування в різних галузях промисловості та в наукових дослідженнях.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є Дати студенту уяву про місце квантової електроніки у сучасному технологічному і науковому просторі, допомогти оволодіти мисленням на рівні законів квантової фізики. Виробити навички роботи з різноманітною науковою і навчальною літературою. Навчити студента методиці самостійної роботи при підготовці до занять та підсумкового контролю знань.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 108

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
3-й
Семестр
6-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
-
Лабораторні заняття
16 год.
Самостійна робота
60 год.
Індивідуальні завдання

## 1.6. Заплановані результати навчання

### знати:

- характеристики лазерного випромінювання; метод розрахунку характеристик лазера за допомогою балансних рівнянь;
- необхідність застосування відкритих резонаторів у деяких лазерах, їхні типи та характеристики власних коливань;
- методи збудження лазерного середовища;
- властивості лазерів неперервної дії;
- методи одержання потужних надкоротких лазерних імпульсів;
- розповсюдженні типи лазерів;
- області застосування лазерів;

### вміти:

- розраховувати характеристики лазерів застосовуючи балансні рівняння;
- розрахувати резонансну частоту та дифракційні збитки відкритого резонатора та перелічити методи селекції мод;
- розрахувати характеристики лазерів безперервної дії;
- пояснити способи одержання коротких лазерних імпульсів та вміти розрахувати їх тривалість і потужність;
- пояснити принципи роботи різноманітних пристроїв квантової електроніки;

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Теоретичні засади квантової електроніки.

#### Тема 1. Вступ до курсу.

Задачі квантової електроніки. Фотони. Матеріальні тіла, їхні стани й рівні енергії. Загальний опис взаємодії фотонів електромагнітного поля з речовиною. Спонтанне й вимушене випромінювання, поглинання. Імовірність переходу. Загальні принципи дії квантових генераторів (лазерів і мазерів) і квантових підсилювачів. Інверсна заселеність рівнів, накачування, підсилення, втрати. Резонатор, зворотний зв'язок. Баланс амплітуд і фаз.

#### Тема 2. Властивості лазерного випромінювання.

Монохроматичність. Когерентність у часі. Просторова когерентність. Спрямованість (розбіжність). Можливість одержання надкоротких потужних імпульсів.

#### Тема 3. Резонатори лазерів.

Щільність мод закритого і відкритого резонаторів. Подовжні і поперечні моди. Спектр відкритого резонатора. Дифракційні втрати. Амплітудний розподіл поля моди на дзеркалах. Поширені типи відкритих резонаторів. Хвилеводні резонатори.

#### Тема 4. Фотони. Закони взаємодії фотонів з атомами.

Фотон. Його властивості. Моди електромагнітного поля. Спонтанне і вимушене (індуковане) випромінювання атома в одну моду. Поглинання фотона атомом з моди. Щільність вірогідності переходу. Перетин поглинання. Форма лінії з природним розширенням. Природний час життя рівня. Взаємодія атома з декількома модами. Коефіцієнти Ейнштейна.

#### Тема 5. Балансові рівняння. Трирівнева і чотирирівнева системи.

Три підходи до розрахунку характеристик лазера (квантова, полукласична, кінетична). Балансні рівняння і їх складання. Вірогідність і швидкості переходів. Часи життя. Релаксація. Переходи з випромінюванням і безвипромінювальні переходи.

Фізичний сенс перетину поглинання атома. Трирівнева і чотирирівнева схеми лазера в стаціонарному режимі. Створення інверсної різниці населеностей.

**Тема 6. Безперервний режим роботи лазера.**

Підсилення середовища з інвертованою різницею населеності. Коефіцієнт підсилення. Насичення. Розвиток лазерної генерації. Порогова різниця населеності. Зміна різниці населеності і щільності внутрішнього потоку фотонів в залежності від величини накачування. Одномодовий і багатомодовий режими. Вихідна потужність.

**Тема 7. Імпульсний режим роботи лазера. Модуляція добротності.** Області використання імпульсних лазерів. Наочний опис здобуття гігантських імпульсів. Графічне зображення процесів в лазерному середовищі при Q-модуляції. Балансні рівняння, що описують формування лазерного імпульсу. Максимальна пікова вихідна потужність. Способи реалізації режиму Q-модуляції. Розвантаження резонатора.

**Тема 8. Імпульсний режим роботи лазера. Синхронізація мод.** Теоретичний опис синхронізації мод в частотній і тимчасовій шкалі. Основні співвідношення для тривалості імпульсу, його енергії і частоти дотримання імпульсів. Методи реалізації режиму синхронізації мод. Спеціальні методи укорочення імпульсів.

**Розділ 2. Характеристики та режими роботи лазерів. Їх розрахунок**

**Тема 9. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Ядерний магнітний резонанс (ЯМР).**

Визначення магнітного моменту. Момент кількості руху. Зв'язок магнітного моменту з орбітальним і спіновим моментом кількості руху. Магнетон Бора. g-фактор Ланде. Гіромагнітне відношення. Енергія магнітного моменту в магнітному полі. Кутовий момент у квантовій механіці. Рівні енергії магнітного моменту в постійному магнітному полі у квантовій механіці. ЕПР вільного електрона з орбітальним кутовим моментом рівним 0. Магнітний момент системи з ненульовими орбітальним і спінові моментами. Рівні енергії іона хрому Cr<sup>3+</sup> в кристалі рубіна. ЕПР кристала рубіна. Спінової гамільтониан. Пристрої для спостереження ЕПР.

**Тема 10. Твердотільні лазери.**

Лазери на іонах перехідних металів і рідкоземельних елементів: лазери на іонах Cr<sup>3+</sup> (рубін) і Nd<sup>3+</sup> (YAG-лазери).

**Тема 11. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.**

Гелій-неоновий лазер і CO<sub>2</sub> лазер.

**Тема 12. Застосування лазерів.**

У промисловості та медицині. Приклади використання лазерів для вирішення наукових і практичних завдань. Моніторинг навколишнього середовища. Лідари. Вимір відстані від Землі до Місяця. Термоядерна реакція, що підпалюється лазерним випромінюванням. Голографія. Запис і читання з лазерних дисків. Інші застосування. Адаптивна оптика в телескопах з використанням штучних зірок, запалюваних лазером.

### 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. Теоретичні засади квантової електроніки.</b>						
Тема 1. Вступ до курсу.	6	2				4
Тема 2. Властивості лазерного випромінювання.	8	2				6
Тема 3. Резонатори лазерів.	10	4				6
Тема 4. Фотони. Закони взаємодії фотонів з атомами.	8	2				6
Тема 5. Балансові рівняння. Трирівнева і чотирирівнева системи.	10	4				6
Тема 6. Безперервний режим роботи лазера.	8	2				6
Тема 7. Модуляція добротності.	9	3				6
Тема 8. Синхронізація мод.	9	3				6
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>68</b>	<b>22</b>				<b>44</b>
<b>Розділ 2. Характеристики та режими роботи лазерів. Їх розрахунок.</b>						
Тема 9. Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс.	12	2		6		4
Тема 10. Твердотільні лазери.	12	2		6		4
Тема 11. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.	10	2		4		4
Тема 12. Застосування лазерів.	6	2				4
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>40</b>	<b>10</b>		<b>16</b>		<b>16</b>
<b>Усього годин</b>	<b>108</b>	<b>32</b>		<b>16</b>		<b>60</b>

### 4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	ЕПР в рубіні.	4
2	ЯМР протонів водню.	2
3	Рубіновий лазер.	4
4	Неодимовий лазер.	2
5	He-Ne лазер.	2
6	CO <sub>2</sub> – лазер.	2

Практичних занять не заплановано.

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Історія квантової електроніки	2
2	Характеристики лазерного випромінювання.	6
3	Форма ліній поглинання та випромінювання.	2
4	Багатоелектронні атоми.	2
5	Молекули та структура їх енергетичних станів.	2
6	Спектри ЕПР та ЯМР.	4
7	Енергетичні стани напівпровідників.	2
8	Принцип дії лазера.	2
9	Відкриті резонатори.	2
10	Трирівневі й чотирирівневі лазерні системи.	4
11	Лазер у безперервному режимі.	4
12	Імпульсний режим лазера.	6
13	Способи створення інверсної заселеності.	2
14	He-Ne –лазер.	2
15	Рубіновий лазер.	2
16	Неодімовий YAG лазер.	2
17	Ti-сапфіровий лазер.	2
18	Напівпровідникові лазери.	4
19	CO <sub>2</sub> -лазер.	4
20	Лазери на барвниках.	2
21	Квантові стандарти частоти.	2
	Разом	<b>60</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання не заплановані.

### 7. Методи контролю

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, проведенням лабораторних робіт, розв'язанням задач, які даються на лекціях до дому, а також самостійною роботою.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен відповісти на 2-3 питання по темі роботи, що виконується. В разі не належної підготовки до виконання лабораторної роботи студент не допускається до її виконання. На початку кожної лекції проводиться вибіркова перевірка виконання домашніх завдань. До заліку студент повинен мати зошит з усіма лекціями та задачами, які розв'язувались вдома.

### 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання											
Розділ 1								Лаб	Разом	Екз	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	45	60	40	100
1	2	1	1	1	1	1	2				
Розділ 2											
T9	T10	T11	T12								
1	1	1	2								

## 9. Рекомендована література

1. Песковацкий С.А., Перепечай М.П., Тютюнник В.Б. Методические указания к лабораторным работам по квантовой радиофизике. Харьков: ХГУ, 1983. – 68 с.

### Базова література

1. Звелто О. Принципы лазеров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 560 с.
2. Мэйтленд А., Данн М. Введение в физику лазеров: Пер. с англ. – М.: Наука, 1978 – 408с.
3. Ярив А. Квантовая электроника: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1980. – 488с.
4. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике: Учебное пособие. – М.: Наука, 1983. – 320с.
5. Григоруку В.І., Коротков П.А., Хижняк А.І. Лазерна фізика: Підруч. – К.: 1999. – 528 с.
6. Штыков В.В., Квантовая радиофизика: Учебное пособие. – М.: Академия, 2009. – 336 с.

### Допоміжна література

1. Хакен Г. Лазерная светодинамика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
2. Ханин Я.И. Введение в квантовую радиофизику: Лекции по квантовой радиофизике. 2005.
3. Стенхольм С. Основы лазерной спектроскопии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 312 с.
4. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981. – 440 с.
5. Кондиленко И.И., Коротков П.А., Хижняк А.И. Физика лазеров. – К.: Вища школа, 1984. – 232 с.
6. Карлов Н.В., Маненков А.М. Квантовые усилители (Радиофизика 1964-1965. Итоги науки) – М.: ВИНТИ, 1966.-334 с.
7. Троуп Г. Квантовые усилители и генераторы: Пер. с англ. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 172 с.
8. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. – М.: Техносфера, 2006. – 432 с.

### Інформаційні ресурси

1. <http://www.ece.jhu.edu/~khurgin/>
2. Siegman A.E. Lasers. - Stanford University, Mill Valley, California, 1986. – 1304 p.  
<http://books.google.com/books?id=1BZVwUZLTkAC&printsec=frontcover&dq=Lasers+Siegman&ei=-fbvSvSGKaCCygTRrsSDAw&hl=ru#v=onepage&q=&f=false>.
3. Encyclopedia of Laser Physics and Technology. <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>.
4. Miles Padgett - Notes for Modern and nonlinear Optics. 2006.