

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)

напря́м 6.040204 – Прикладна фізика

(шифр, назва напряму)

спеціальність 8.04020402 Радіофізика і електроніка

(шифр, назва спеціальності)

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-відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

_____ бакалавр _____
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напряму) __ 8.04020402 __ Радіофізика і електроніка _____

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
4-й
Семестр
8-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. Области 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 Cr³⁺ 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 Cr³⁺ (рубін) і Nd³⁺ (YAG-лазери).

Тема 11. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.

Гелій-неоновий лазер і CO₂ 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
Розділ 1. Теоретичні засади квантової електроніки.						
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
Разом за розділом 1	68	22				44
Розділ 2. Характеристики та режими роботи лазерів. Їх розрахунок.						
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
Разом за розділом 2	40	10		16		16
Усього годин	108	32		16		60

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 ₂ – 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 ₂ -лазер.	4
20	Лазери на барвниках.	2
21	Квантові стандарти частоти.	2
	Разом	60

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.

Основна 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.

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

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.