

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра квантової радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

«_____» _____ 2016 р.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ВСТУП ДО КВАНТОВОЇ РАДІОФІЗИКИ»

(назва навчальної дисципліни)

напрямок 6.040204 – прикладна фізика
(шифр, назва напрямку)

спеціальність 8.04020402 Радіофізика і електроніка
(шифр, назва спеціальності)

спеціалізація _____ квантова радіофізика та фотоніка _____
(шифр, назва спеціалізації)

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: Шульга Валерій Михайлович, д.ф.-м.н., професор, професор 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 квантової радіофізики ” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

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

напряму 6.040204 – прикладна фізика

спеціальності 6.070201 – радіофізика і електроніка

спеціалізації __ квантова радіофізика та фотоніка _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

знайомство студентів, що спеціалізуються в галузі квантової радіофізики, з фундаментальними фізичними явищами, що дозволяють трансформувати рівновісні квантові системи в інвертований стан, та методами їх практичними застосування.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є

надання студентам необхідних знань в галузі радіовимірювань, розрахунків, побудови, принципів дії та застосування радіовимірювальних приладів та систем у процесі експлуатації радіоелектронних систем та комплексів.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 108

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна
Денна форма навчання
Рік підготовки
2017-й
Семестр
6-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
16 год.
Лабораторні заняття
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:

знати: фундаментальні фізичні явища, що визначають властивості рівновісних та інвертованих квантових систем

вміти: застосувати знання фундаментальних законів квантової фізики і

електродинаміки для визначення методів створення інверсії в залежності від вибору агрегатного стану і властивостей квантової системи та оцінки характеристик сучасних квантових пристроїв

2. Тематичний план навчальної дисципліни

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

- Тема 1.** Історія квантової радіофізики. Місце досліджень Н. Фабриканта, М.Басова і О.Прохорова. Нобелівські лауреати. Локалізовані і вільні електрони. Рівняння Шредінгера. Основні принципи і формули квантової фізики. Принцип підсилення при використанні вільних і локалізованих електронів. Монохроматичність і когерентність. Зв'язок квантової радіофізики з іншими фізичними науками та її вплив на їх розвиток
- Тема 2.** Особливості взаємодії електромагнітного поля з квантовою системою. Використання методу малого збурення.. Метод Ейштейна для опису взаємодії квантової систем из термостатом. Індуковані, спонтанні та релаксаційні переходи та їх властивості. Коефіцієнти Ейнштейна і матричні елементи оператора переходу.
- Тема 3.** Характеристики рівновісних квантових систем. Розподіл Больцмана і Планка. Ширина лінії при термодинамічній рівновазі. Гаусова і лорентцева форма лінії. Однорідне та неоднорідне уширення квантових рівнів. Природа уширення в газах, рідинах та твердих тілах.
- Тема 4.** Інверсія. Ефект насичення у дворівневій квантовій системі. Неможливість і необхідність його використання для створення інверсії. Поглинання і підсилення. Ефект Бугера. Генерація.
- Тема 5.** Електродинамічні системи для використання в квантовій радіофізиці. Системи з заторможеною електромагнітною хвилі і їх обмеженість по частотному діапазону. Резонатори і відкриті резонатори. Задача про розповсюдження монохроматичної електромагнітної хвилі в резонаторі Фабрі-Перо з інвертованим активним середовищем.

Розділ 2. Принципи створення інвертованого стану квантових систем.

- Тема 6.** Основні принципи створення інверсії в квантових системах. Рівновісний і імпульсний режими інверсії. Трьох- і чотирьох рівневі схеми інверсії. Кінетичні рівняння для визначення умов інверсії. Метастабільні рівні енергії і їх необхідність для створення інверсії. Принцип реалізації просторової інверсії. Інверсія в імпульсному режимі.
- Тема 7.** Основні методи створення інверсії в різних активних середовищах квантової радіофізики. Оптична накачка в твердих тілах та рідинах. Газовий розряд і використання зштовхувальних процесів для отримання інверсії в газах.
- Тема 8.** Фізичні основи отримання інверсії на вільних електронах. Особливості інверсії в напівпровідниках. Напівпровідникові лазери. Використання надпровідних матеріалів для генерації (ефект Джозефсона) і детектування електромагнітних хвиль.

Розділ 3. Властивості інвертованих квантових систем та характеристики сучасних квантових пристроїв

- Тема 9.** Особливості генерації в твердотільних квантових пристроях. Рубіновий лазер. Кристалічне поле і рівні енергії. Природа метастабільного рівня в рубіні..
- Тема 10.** Особливості генерації в газових квантових системах. Гелій-неоновий лазер як приклад використання буферних газів. Рівні енергії та природа метастабільності.
- Тема 11.** Мікрохвильові квантові підсилювачі (мазери) та інфрачервоні і субміліметрові квантові генератори. Природа енергетичних рівней в парамагнетиках. Коливальні рівні енергії молекул. CO₂-лазери
- Тема 12.** Квантові генератори великої потужності. Іонні та ексімерні лазери, лазери на фарбниках.

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 Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.						
Тема 1. Історія квантової радіофізики.	7	2				5
Тема 2. Особливості взаємодії електромагнітного поля з квантовою системою.	9	2	2			5
Тема 3. Характеристики рівновісних квантових систем.	11	4	2			5
Тема 4. Інверсія.	11	4	2			5
Тема 5. Електродинамічні системи для використання в квантовій радіофізиці..	11	4	2			5
Разом за розділом 1	49	16	8			25
Розділ 2. Принципи створення інвертованого стану квантових систем.						
Тема 6._Основні принципи створення інверсії в квантових системах.	10	3	2			5
Тема 7._Основні методи створення інверсії в різних активних середовищах квантової радіофізики.	10	3	2			5
Тема 8._Фізичні основи отримання інверсії на вільних електронах.	9	2	2			5
Разом за розділом 2	29	8	6			15
Розділ 3. Властивості інвертованих квантових систем та характеристики сучасних квантових пристроїв						
Тема 9._Особливості генерації в твердотільних квантових пристроях.	9	2	2			5
Тема 10._Особливості генерації в газових квантових системах.	7	2				5
Тема 11. Мікрохвильові квантові підсилювачі (мазери) та інфрачервоні і субміліметрові квантові генератори.	7	2				5

Тема 12. Квантові генератори великої потужності.	7	2			5
Разом за розділом 3	30	8	2		20
Усього годин	108	32	16		60

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Рішення рівняння Шредінгера з малим збуренням. Знаходження рівнів енергії і хвильових функцій.	2
2	Метод збурення в задачі взаємодії квантової системи з монохроматичною електромагнітною хвилею.	2
3	Визначення ефективної шумової температури при послідовному включенні підсилювача з шумовою температурою $T_{ш}$ і	2
4	Розрахувати і порівняти різницю заселення рівней енергії E_2 і E_1 для трьохрівневої системи з $E_3 = 1 \times 10^{14}$ ГГц, $E_2 = 3 \times 10^{13}$ ГГц і $E_1 = 0$ ГГц в стаціонарному випадку при насиченні рівней E_3 і E_1 накачкою при фізичній температурі 300К і 20К.	2
5	Розрахувати максимальний коефіцієнт корисної дії трьохрівневої і чотирьохрівневої схем інверсії (без урахування втрат в резонаторі і активній речовині)	2
6	Визначити енергетичні рівні гелію	2
7	Визначити енергетичні рівні неону	2
8	Розрахувати максимальний коефіцієнт інверсії в 3-х рівневій схемі при температурах 1К і 5К для випадку $(E_3 - E_1)/h = 40$ ГГц і $(E_2 - E_1)/h = 10$ ГГц	2
	Разом	16

5. Завдання для самостійної роботи

з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин.
1	Принцип роботи і характеристики надпровідникових змішувачів з використанням ефекту тунелювання («надпровідник-ізолятор-надпровідник» змішувачі).	6
2	Що таке режим генерації лазера з модульованою добротністю і методи його реалізації.	6
3	Провал Лемба і його використання в пристроях квантової електроніки	6
4	Сучасні напівпровідникові лазери.	6

5	Фізичне обґрунтування, чому в мікрохвильовому діапазоні використовуються в основному підсилювачі, а в інфрачервоному, оптичному і ультрафіолетовому діапазонах - генератори	6
6	Космічні лазери. Особливості їх випромінювання.	6
7	Квантові стандарти частоти	6
8	Сучасні оптичні та інфрачервоні оптоволоконні лазери.	6
9	Когерентність як фізичне явище.	6
10	Використання лазерів в промисловості.	6
	Разом	60

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

7. Методи контролю

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, розв'язанням задач на практичних заняттях, а також самостійною роботою.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота										Залікова робота	Сума
Розділ 1					Розділ 2						
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10		
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		100(50)
40(20)					40(20)					20	

9. Рекомендована література

Основна література

1. Н.В.Карлов. Лекції з квантової електроніки: навчальний посібник. М. Наука.1988. 336с.
2. А.Ярив. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа. 1983. 398 с.
3. Б.И.Дудкин, Л.Н.Пахомов. Квантовая электроника. М.: Техносфера, 2006, 432 с.
4. А.Н.Пихтин. Оптическая и квантовая электроника: учебное пособие М.: Высшая школа, 2001, 573 с.

Допоміжна література

1. А. М.Прохоров. Квантовая электроника. УФН,1965, т.85, №4, с.599-604.
2. Ч.Таунс, А.Шавлов. Радиоспектроскопия. М.: Изд-во иностр. лит., 1959, 756 с.

3. А.Сигмен. Мазеры. М: Мир. 1966.
4. Г.Л.Киселев. Квантовая и оптическая электроника. М.: Лань. 2011. 320 с.
5. Справочник лазеров и оптики. Springer-Verlag. 2007. 1342 с.

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