

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Проректор з науково-педагогічної  
роботи

\_\_\_\_\_ 2017 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

2017 / 2018 навчальний рік

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

Протокол від “ 21 ” червня 2017 року № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Шульга Валерий Михайлович, д.ф.-м.н., професор, професор кафедри квантової радіофізики

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 21 ” червня 2017 року № 10

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 2017 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 – 90

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
42 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 заторможеним 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 Джосефсона) 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. CO<sub>2</sub>-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
<b>Розділ 1 Фізичні основи взаємодії квантових систем з електромагнітним полем.</b>						
Тема 1. Історія квантової радіофізики.	4	2				2
Тема 2. Особливості взаємодії електромагнітного поля з квантовою системою.	7	2	2			3
Тема 3. Характеристики рівновісних квантових систем.	9	4	2			3
Тема 4. Інверсія.	9	4	2			3
Тема 5. Електродинамічні системи для використання в квантовій радіофізиці..	9	4	2			3
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>38</b>	<b>16</b>	<b>8</b>			<b>14</b>
<b>Розділ 2. Принципи створення інвертованого стану квантових систем.</b>						
Тема 6._Основні принципи створення інверсії в квантових системах.	9	3	2			4
Тема 7._Основні методи створення інверсії в різних активних середовищах квантової радіофізики.	9	3	2			4
Тема 8._Фізичні основи отримання інверсії на вільних електронах.	8	2	2			4
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>27</b>	<b>8</b>	<b>6</b>			<b>12</b>
<b>Розділ 3. Властивості інвертованих квантових систем та характеристики сучасних квантових пристроїв</b>						
Тема 9._Особливості генерації в твердотільних квантових пристроях.	8	2	2			4
Тема 10._Особливості генерації в газових квантових системах.	6	2				4
Тема 11. Мікрохвильові квантові підсилювачі (мазери) та інфрачервоні і субміліметрові квантові генератори.	6	2				4

Тема 12. Квантові генератори великої потужності.	6	2			4
Разом за розділом 3	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>2</b>		<b>16</b>
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>32</b>	<b>16</b>		<b>42</b>

#### 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
	<b>Разом</b>	<b>16</b>

#### 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).	4
2	Що таке режим генерації лазера з модульованою добротністю і методи його реалізації.	4
3	Провал Лемба і його використання в пристроях квантової електроніки	4
4	Сучасні напівпровідникові лазери.	4

5	Фізичне обґрунтування, чому в мікрохвильовому діапазоні використовуються в основному підсилювачі, а в інфрачервоному, оптичному і ультрафіолетовому діапазонах - генератори	4
6	Космічні мазери. Особливості їх випромінювання.	5
7	Квантові стандарти частоти	5
8	Сучасні оптичні та інфрачервоні оптоволоконні лазери.	4
9	Когерентність як фізичне явище.	4
10	Використання лазерів в промисловості.	4
	<b>Разом</b>	<b>42</b>

### 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**