

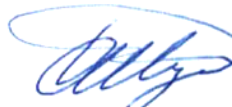
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«ВСТУП ДО КВАНТОВОЇ РАДІОФІЗИКИ»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ перший бакалаврський рівень освіти _____

галузь знань _____ 10 Природничі науки _____
(шифр і назва)

спеціальність _____ 105 Прикладна фізика та наноматеріали _____
(шифр і назва)

освітня програма _____ Радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи _____
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни _____ За вибором _____
(обов'язкова / за вибором)

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем _____

2024 / 2025 навчальний рік

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

“ 24 ” червня 2024 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

доцент кафедри квантової радіофізики, к.ф.-м.н. Олександр ЛЕВЧЕНКО

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року, протокол № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



(підпис)

проф. Вячеслав МАСЛОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником
проектної групи) Радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) проф. Олександр Бутрим



(підпис)

Олександр БУТРИМ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 24 ” червня 2024 року № 6

—

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



(підпис)

(проф. Олександр БУТРИМ)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Вступ до квантової радіофізики” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

бакалавр

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма Радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи

спеціалізації _____

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 рівноважні квантові системи в інвертований стан, та методами їх практичними застосування.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є надання студентам необхідних знань в галузі будови, принципів дії, та застосування приладів квантової електроніки, а також радіовимірювань і розрахунків.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК-1).
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.(ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК-5).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК-7).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-8).
- Здатність працювати автономно. (ЗК-11).
- Здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних систем. (ФК-9).
- Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем. (ФК-10).

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

Навчальні заняття проводяться в малочисельній групі.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
3-й
Семестр
6-й

Лекції
32 год.
Практичні заняття
16
Лабораторні заняття
-
Самостійна робота
42 год.
Індивідуальні завдання
-
Контрольні роботи – 2

1.6. Заплановані результати навчання

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

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

вміти: застосувати знання фундаментальних законів квантової фізики для визначення методів створення інверсії в залежності від вибору агрегатного стану і властивостей квантової системи та оцінки характеристик квантових пристроїв.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною.

- Показувати знання в галузі сучасної прикладної фізики та математики (ПРН-1).
- Показувати знання в галузі професійної діяльності, технологій та методів дослідження властивостей речовин і матеріалів. (ПРН-2).
- Знаходити науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій. (ПРН-3).
- Показувати знання іноземної мови. (ПРН-4)
- Інтерпретувати науково-технічну інформацію (ПРН-6).
- Вибирати методи та інструментальні засоби проведення досліджень (ПРН-9).
- Класифікувати та аналізувати інформацію з різних джерел ((ПРН-12).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Взаємодія квантових систем з електромагнітним полем.

Тема 1. Квантова фізика та радіофізика. Основні закони квантової фізики.

Квантові системи, основні закони квантової фізики, формули та співвідношення. Квантова радіофізика: історична довідка.

Тема 2. Вплив зовнішнього змінного електромагнітного поля на стан квантової системи.

Поглинання енергії зовнішнього поля квантовою системою. Індуковані, спонтанні та релаксаційні переходи квантової системи. Випромінювання квантової системи. Коефіцієнти Ейнштейна. Монохроматичність і когерентність.

Тема 3. Характеристики ліній поглинання та випромінювання квантових систем.

Розподіл елементарних частинок квантової системи по енергіям. Ширина лінії при термодинамічній рівновазі. Розширення рівнів квантових систем. Однорідне та неоднорідне розширення ліній поглинання та випромінювання квантових систем. Гаусова

і лоренцева форма ліній. Особливості явища розширення ліній в газах, рідинах та твердих тілах.

Тема 4. Методи спектроскопії та їх використання для дослідження структури речовини.

Природа енергетичних рівней в парамагнетиках. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Ядерний магнітний резонанс. Електронні, коливальні та обертальні енергетичні рівні квантових систем. Метод абсорбційної спектроскопії. Флуоресцентний метод.

Розділ 2. Квантові системи в інвертованому стані.

Тема 5. Поглинання, підсилення та генерація електромагнітного випромінювання квантовою системою.

Ефект насичення у дворівневій квантовій системі. Інверсія. Необхідність створення інвертованого стану квантових систем для підсилення та генерації електромагнітного випромінювання.

Тема 6. Самозбудження квантової системи.

Реалізація умов самозбудження генерації. Роль резонатора та інвертованого середовища в процесах самозбудження. Резонатори. Вплив втрат в квантовій системі при розповсюдженні монохроматичної електромагнітної хвилі в резонаторі з інвертованим активним середовищем.

Тема 7. Інверсія населеності рівнів в квантових системах.

Необхідність метастабільних рівнів енергії для створення інверсії. Трьох- і чотирьох рівневі схеми інверсії.

Тема 8. Системи накачки.

Основні системи накачки, які використовуються для створення інверсії в активних середовищах квантових приладів. Оптична накачка. Накачка за допомогою електричного струму.

Розділ 3. Принципи роботи та основні характеристики квантових пристроїв.

Тема 9. Мазери.

Створення мазера: історична справка. Мазери на молекулярних та атомних пучках. Твердотільні мазери.

Тема 10. Твердотільні лазери.

Створення оптичного мазера (лазера): історична справка. Рубіновий та неодимовий лазери. Принцип роботи. Конструкція. Використання.

Тема 11. Газові лазери.

Лазери на атомах, іонах та молекулах. Гелій-неоновий, аргонний та CO₂-лазери. Принцип роботи. Конструкція. Використання.

Тема 12. Принципи та особливості роботи лазерів на різних активних середовищах.

Ексимерні лазери. Лазери на фарбниках. Лазери на центрах забарвлення. Напівпровідникові лазери. Волоконні лазери. Використання фотонних кристалів в волоконних лазерах.

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. Взаємодія квантових систем з електромагнітним полем						
Тема 1. Квантова фізика та радіофізика. Основні закони квантової фізики.	14	6	8			2
Тема 2. Вплив зовнішнього змінного електромагнітного поля на стан квантової системи.	6	2				2
Тема 3. Характеристики ліній поглинання та випромінювання квантових систем.	6	2				2
Тема 4. Методи спектроскопії та їх використання для дослідження структури речовини.	10	4	4			4
Разом за розділом 1	36	14	12			10
Розділ 2. Квантові системи в інвертованому стані						
Тема 1. Поглинання, підсилення та генерація електромагнітного випромінювання квантовою системою.	8	2	2			4
Тема 2. Самозбудження квантової системи.	6	2				4
Тема 3. Інверсія населеності рівнів в квантових системах.	6	2				4
Тема 4. Системи накачки	6	2				4
Разом за розділом 2	26	8	2			16
Розділ 3. Принципи роботи та характеристики квантових пристроїв						
Тема 1. Мазери	6	2				4
Тема 2. Твердотільні лазери	6	2				4
Тема 3. Газові лазери.	6	2				4
Тема 4. Принципи та особливості роботи лазерів	10	4	2			4

на різних активних середовищах						
Разом за розділом 3	28	10	2			16
Усього годин	90	32	16			42

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні закони квантової фізики.	8
2	Визначення параметрів спектрів поглинання квантових систем.	2
3	Взаємодія електромагнітного поля з речовиною.	4
4	Характеристики приладів квантової електроніки.	2
	Разом	16

5. Завдання для самостійної роботи

з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання практичних занять.	Кількість годин.
1	Тема 1. Техніка безпеки при роботі з лазерами.	2
2	Тема 2. Модульована добротність в лазерах.	2
3	Тема 3. Лазерна обробка матеріалів та зварювання.	2
4	Тема 4. Напівпровідникові лазери – інжекційні, з електронним збудженням, стримерні лазери.	4
5	Тема 5. Застосування лазерів в біології та медицині	4
6	Тема 6. Застосування лазерів у військовій справі.	4
7	Тема 7. Квантові стандарти частоти	4
8	Тема 8. Оптичні та інфрачервоні оптоволоконні лазери.	4
9	Тема 9. Застосування лазерів в голографії.	4
10	Тема 10. Використання лазерів в промисловості.	4
11	Тема 11 Квантові прилади терагерцового діапазону.	4
12	Тема 12. Квантова радіофізика і проблема термоядерного синтезу	4
	Разом	42

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

7. Методи навчання

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується індивідуальними заняттями, що проводяться у формі лекцій і знайомлять студентів з теоретичним матеріалом що складаються з трьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання; 3) розв'язання типових задач за темою, що вивчається. Питання для теоретичного опитування, приклади розв'язання типових завдань, завдання для

самостійної роботи студентів наведені в методичних вказівках та завданнях до практичних занять з даного курсу. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій та практик.

8. Методи контролю

Поточний контроль включає самостійну роботу (25 балів), роботу на практичних заняттях (25 балів).

Після вивчення першого і другого розділу курсу проводяться 2 письмові контрольні роботи, які оцінюються в $2 \times 5 = 10$ балів.

Підсумковий контроль – екзамен (40 балів).

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота												Екзамен	Сума			
Розділ 1				КР №1	Розділ 2				КР №2	Розділ 3				Разом		
T1	T2	T3	T4		T5	T6	T7	T8		T9	T10	T11	T12			
7	2	6	6		7	3	3	2		3	2	2	7			
21				5	15				5	14				60	40	100

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 50% можливих балів за тему. Студент допускається до екзамену, якщо всі розділи зараховані. Студент не допускається до екзамену, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до екзамену з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до екзамену шляхом виправлення нульових оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей установлюється викладачем.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. Виконання кожного завдання екзаменаційного білету оцінюється балом за таблицею

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недобросовісність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання

		розуміння тексту	
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка за екзамен розраховується за 40-бальною шкалою за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білету.

Шкала оцінювання

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

10. Рекомендована література

Основна література

1. Зеленський С.Є., Охріменко Б.А. Лазерна спектроскопія. Навчальний посібник для фізичних спеціальностей класичних університетів.– Київ, 2019.– 454 с.
2. Квантова електроніка: навч. посіб. / О. С. Кривець, О. О. Шматько, О. В. Ющенко.– Суми: Сумський державний університет, 2013.– 340 с.
3. Svelto O. Principles of Lasers. 5th edition.– New York-Dordrecht-Heidelberg-London: Springer; Plenum Publishing Corporation, 1998.– 620 p.
4. Yariv A. Quantum electronics. 3rd edition.– Wiley, 1991.– 676 p.
5. Siegman A.E. Microwave solid-state masers.– New York, San Francisco, Toronto, London: Mcgraw-Hill Book Company, 1964.– 608 p.
6. Siegman A.E. Lasers.– California: University Science Books. Mill Valley, 1986.– 1283 p.
7. Dolinšek J., Vilfan M., Žumer S. Novel NMR and EPR Techniques, Lect. Notes Phys. 684.– Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.– 439 p.

Допоміжна література

1. Quimby R.S. Photonics and Lasers. An Introduction.– J. Wiley & Sons, Inc., 2006.– 519 p.
2. Holzner S. Quantum Physics for dummies.– Willey Pub. Inc., 2009.– 318 с.
3. Luxon J.I., Parker D.E.. Industrial lasers and their applications. N.J.: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1985.– 248 p.
4. Пащенко О.М. Напівпровідникові квантові генератори з наноструктурами: навч. посіб. для студентів спец. 171 Електроніка, 153 Мікро- та наносистемна техніка / О.Г. Пащенко, О.Б. Галат, О.Ю. Бабиченко; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки.– Харків: ХНУРЕ, 2019.– 234 с.
5. Квантова радіофізика: Методичні вказівки та завдання до практичних занять / Дюбко С.П., Баскаков О.І., Перепечай М.П., Тютюнник В.Б. / Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2006.– 44 с.

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

1. Енциклопедія лазерної техніки і технології <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>
2. Photonics Handbook <http://www.photonics.com/EDU/Handbook.asp>
3. Центр електронного навчання Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Вступ до квантової радіофізики. <https://moodle.karazin.ua>