

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

КВАНТОВА РАДІОФІЗИКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень вищої 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)

завідувач кафедри квантової радіофізики, д.ф.-м.н., професор Вячеслав МАСЛОВ

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

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

Завідувач кафедри квантової радіофізики

 проф. Вячеслав МАСЛОВ

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

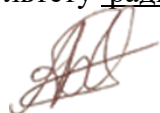
 Олександр БУТРИМ
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

 (проф.Олександр БУТРИМ)
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни **“КВАНТОВА РАДІОФІЗИКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА”** складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавр
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напрямку) 105 прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма Радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи

спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є

– забезпечення відповідним сучасним вимогам знань студентів про квантові властивості атомів, молекул, основи квантової теорії взаємодії випромінювання з речовиною;

– 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

– сформувати у студента сучасне представлення про фотонну структуру електромагнітного поля, про елементарні квантові акти однофотонної і баготофотонної взаємодії поля з речовиною і їхнім конкретним проявом при перетворенні, посиленні і генерації когерентного електромагнітного випромінювання;

– дати студенту уяву про місце квантової електроніки у сучасному технологічному і науковому просторі, допомогти оволодіти мисленням на рівні законів квантової фізики.

Велику увагу в курсі приділено супутньому математичному опису зазначених процесів, особливо квантовим кінетичним рівнянням для матриці щільності і їхньому використанню для розрахунку основних характеристик квантових генераторів.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК-1)
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК-2)
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК-3)
- Здатність спілкуватися іноземною мовою. (ЗК-4)
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК-5)
- Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. (ЗК-6)
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК-7)
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-8)
- Здатність працювати в команді. (ЗК-9)
- Навички міжособистісної взаємодії. (ЗК-10)
- Здатність працювати автономно. (ЗК-11)
- Навики здійснення безпечної діяльності. (ЗК-12)
- Здатність брати участь у складанні запитів на виконання наукових та науково-технічних проектів, в тому числі і міжнародних. (ФК-1)
- Здатність брати участь у плануванні методики проведення та матеріального забезпечення експериментів та лабораторних досліджень. (ФК-2)

- Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів. (ФК-3)
- Здатність брати участь у виготовленні зразків матеріалів та об'єктів дослідження. (ФК-4)
- Здатність брати участь у розробці схем фізичних експериментів та обранні необхідного обладнання та пристроїв для проведення експерименту. (ФК-5)
- Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту. (ФК-6)
- Здатність брати участь в роботі колективів виконавців, у тому числі у міждисциплінарних проектах. (ФК-7)
- Здатність брати участь у формуванні запитів щодо матеріально-технічного забезпечення досліджень. (ФК-8)
- 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)
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для опису фізичних об'єктів, пристроїв та процесів (ФК-11)
- Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів. (ФК-12)
- Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок. (ФК-13)
- Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності. (ФК-14)

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин – 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й
Семестр
7-й
Лекції
60 год.
Практичні, семінарські заняття
15 год.
Лабораторні заняття
15 год.–
Самостійна робота
90 год.
Індивідуальні завдання
–
Контрольна робота – 1

1.6. Заплановані результати навчання

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

знати:

- квантові властивості атомів, молекул і йонів ;
- квантову теорію випромінювання і поглинання електромагнітних хвиль речовиною;
- основні елементарні квантові процеси за участю фотонів;
- основні механізми розширення спектральних ліній;
- квантові кінетичні рівняння для матриці густини;
- різні методи створення інверсної населеності в середовищі;
- основні типи нелінійних і параметричних процесів при взаємодії поля із середовищем.
- необхідність застосування відкритих резонаторів у більшості лазерів, їхні типи та характеристики власних коливань;
- властивості лазерів неперервної дії;
- методи одержання потужних надкоротких лазерних імпульсів;
- розповсюдженні типи лазерів;
- області застосування лазерів;

вміти:

- знаходити аналітичні рішення завдань квантової теорії вільного електромагнітного поля (хвильові функції, операторні розв'язання рівнянь Гейзенберга, імовірнісні розподіли, середні значення і дисперсії для різних величин поля);
- проводити розрахунки і робити чисельні оцінки величин імовірностей переходів для однофотонних і двофотонних процесів та їхніх залежностей від параметрів спектральних ліній;
- робити чисельні оцінки часів релаксації для різних середовищ;
- розв'язувати квантове кінетичне рівняння для матриці щільності двохрівневих електро- і магнітодипольних систем, взаємодіючих із класичним резонансним полем;
- знаходити аналітичне рішення та робити чисельні оцінки інверсії заселеностей коефіцієнта підсилення (поглинання) у двох-, трьох- і чотирьохрівневих середовищах.
- розрахувати резонансну частоту та дифракційні збитки відкритого резонатора та перелічити методи селекції мод;
- пояснити способи одержання коротких лазерних імпульсів та вміти розрахувати їх тривалість і потужність;
- пояснити принципи роботи різноманітних пристроїв квантової електроніки;

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)
- Обговорювати та знаходити рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних проектів. (ПРН-5)

- Інтерпретувати науково-технічну інформацію. (ПРН-6)
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій. (ПРН-7)
- Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, речовини, технологій. (ПРН-8)
- Вибирати методи та інструментальні засоби проведення досліджень. (ПРН-9)
- Використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами. (ПРН-10)
- Організовувати результативну роботу індивідуально і як член команди. (ПРН-11)
- Класифікувати та аналізувати інформацію з різних джерел. (ПРН-12)
- Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії. (ПРН-13)
- Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики. (ПРН-14)
- Вміння представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі. (ПРН-15)

Тематичний план навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. АТОМ ВОДНЮ І ВОДНЕПОДІБНІ АТОМИ.

Тема 1. Вступ.

Визначення предмета. Історична довідка. Застосування пристроїв квантової радіофізики. Перспективи. Структура курсу, його завдання.

Тема 2. Теорія атома Бора.

Зарядове число. Масове число. Ізотопи. Воднеподібний атом, його потенційна енергія. Модель атома Томсона. Досліди Резерфорда. Планетарна модель атома і проблема стійкості атомів. Постулати Бора. Момент імпульсу електрона. Умова квантування орбіт в теорії Бора. Радіуси стаціонарних орбіт в теорії Бора. Енергія, швидкість, частота електрона, що знаходиться на n борівської орбіті. Вплив маси ядра на характеристики електрона в моделі Бора. Спектральні серії переходів атома водню.

Тема 3. Квантовомеханічний опис воднеподібних атомів.

Стаціонарне рівняння Шредінгера. "Магнітне" рівняння Шредінгера. "Орбітальний" рівняння Шредінгера. "Радіальне" рівняння Шредінгера. Уровні енергії атома водню. Хвильові функції стаціонарних станів. Оператори кутового моменту. Оператори магнітного моменту та їх зв'язок з операторами кутового моменту. Спін. Оператори власного кутового і магнітного моменту. Атомні квантові числа. Невироджені і вироджені рівні енергії. Повний механічний момент одноелектронного атома. Повний магнітний момент одноелектронного атома.

Тема 4. Тонка і надтонка структура термів.

Тонка структура спектра одноелектронного атома. Енергія спин-орбітальної взаємодії. Облік релятивістської зв'язку імпульсу і кінетичної енергії електрона. Повна поправка до енергії терма. Формула тонкої структури. Систематика станів атома водню. Надтонка структура рівнів енергії.

Тема 5. Воднеподібні атоми й іони.

Воднеподібні іони. Атоми лужних металів. Модель валентного електрона. Рідбергівські терми. Квантовий дефект. Гігантські (рідбергівські) атоми, молекули. Екситони.

РОЗДІЛ 2. АТОМИ С БАГАТЬМА ЕЛЕКТРОНАМИ.

Тема 1. Атом гелію.

Принцип тотожності частинок. Обмінне виродження для атома гелію. Бозони і ферміони. Симетричні й несиметричні хвильові функції для атома гелію. Принцип Паулі (принцип заборони). Хвильові функції спина для атома гелію. Спін-орбіталі для атома гелію. Систематика енергетичних станів атома гелію. Енергія атома гелію.

Тема 2. Багатоелектронні атоми.

Одночасткове наближення. Оболочечная модель в багатоелектронних атомах. Еквівалентні електрони. Правила заповнення. Електронна конфігурація багатоелектронного атома. Повні моменти багатоелектронних атомів. Рассел-саундерівська і LS-зв'язок. Терми багатоелектронних атомів. Основні терми атома. Правила Гунда. Мультиплетність розщеплення. Правило інтервалів Ланде. Правила відбору.

РОЗДІЛ 3. СТАЦІОНАРНІ СТАНИ МОЛЕКУЛ.

Тема 1. Молекула водню. Електронні стани двохатомних молекул.

Хімічна зв'язок в молекулах. Види руху в молекулах. Порядок величини електронної, коливальної і обертальної енергії. Адіабатичне наближення (Борна-Оппенгеймера) для молекул. Молекула водню (теорія Гайтлера-Лондона). Електронні стани двохатомних молекул. Параводород і ортоводород. Орбітальний момент. Спін. Повний момент. Енергія спін-орбітальної взаємодії. Молекулярні терми. Правила відбору.

Тема 2. Коливання молекул.

Лінійний гармонійний осцилятор. Ступені свободи молекул. Класифікація коливань по виду симетрії і формі. Класичне рішення коливальної задачі для багатоатомних молекул. Квантовомеханічний рішення коливальної задачі для багатоатомних молекул. Позначення коливальних станів в багатоатомних молекулах. Анггармонічність коливань.

Тема 3. Обертальний рух жорсткої багатоатомної молекули.

Загальна характеристика обертання молекул. Гамільтоніан жорсткого дзиги. Обертальна енергія жорсткої лінійної молекули. Обертальна енергія симетричного жорсткого дзиги. Обертальна енергія сферичного дзиги. Обертальна енергія асиметричного вовчка.

Тема 4. Взаємодія внутрішніх видів руху молекули.

Колівально-обертальний взаємодія. I - подвоєння в спектрах лінійних молекул. Електронно-коливально-обертальна взаємодія. λ - подвоєння в спектрах лінійних молекул. Інверсійний спектр молекули аміаку. Населеність коливально-обертальних станів для двохатомних молекул і для багатоатомних молекул.

РОЗДІЛ 4. ВЗАЄМОДІЯ ПОЛЯ З РЕЧОВИНОЮ.

Тема 1. Індуковане і спонтанне випромінювання. Вірогідність переходів

Типи переходів між енергетичними станами. Властивості спонтанних переходів. Властивості індукованих переходів. Властивості безвипромінювальних переходів. Умови теплової рівноваги для квантових переходів. Постулат Ейнштейна. Невзаємодіюча (взаємодіюча) система. Перше наближення теорії збурень. Дипольне взаємодія частинки з перемінним електромагнітним полем. Повна ймовірність переходу в поле теплового випромінювання. Ймовірність переходу в одиницю часу

Тема 2. Форма і ширина спектральної лінії.

Природна ширина спектральної лінії. Релаксаційні безвипромінювальні переходи. Часи релаксації. Однорідне і неоднорідне ушірення. Допплерівське ушірення. Профіль Фойгта.

Тема 3. Поглинання і посилення випромінювання в середовищі. Ефект насичення. Форма та ширина спектральної лінії

Поглинання випромінювання в рівноважній середовищі. Коефіцієнт поглинання слабого сигналу. Перетин поглинання. Про можливості посилення випромінювання. Інверсія. Негативна температура. Коефіцієнт посилення. Ефект насичення в режимі поглинання. Природна ширина спектральної лінії. Релаксацийні безвипромінювальні переходи. Однорідне та неоднорідне розширення. Доплерівське розширення. Профіль Фойгта

Тема 4. Матриця густини.

Чисті та змішані стани. Загальне рівняння для матриці густини. Рівняння руху матриці густини. Деякі властивості матриці густини. Когерентність станів. Облік релаксацийних явищ. Матриця густини і сприйнятливість речовини.

РОЗДІЛ 5. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Тема 1. Властивості лазерного випромінювання.

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

Тема 2. 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 3. 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 4 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 5. Імпульсний режим роботи лазера. Модуляція добротності. Синхронізація мод.

Області використання імпульсних лазерів. Наочний опис продукування 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. 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 6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛАЗЕРІВ.

Тема 1. 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^{3+} в кристалі рубіна. ЕПР кристала рубіна. Спінової гамільтоніан. Пристрої для спостереження ЕПР.

Тема 2. Твердотільні лазери.

Лазери на іонах перехідних металів і рідкоземельних елементів: лазери на іонах Cr^{3+} (рубін) і Nd^{3+} (YAG-лазери).

Тема 3. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.

Гелій-неоновий лазер і CO_2 лазер.

Тема 4. 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. 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. Атом водню і воднеподібні атоми						
Тема 1. Вступ.	2	2				
Тема 2. Теорія атома Бора.	3	2	1			
Тема 3. Квантовомеханічний опис воднеподібних атомів.	4	2	2			
Тема 4. Тонка і надтонка структура термів.	4	2	2			
Тема 5. Воднеподібні атоми й іони.	10	2				8
Разом за розділом 1	23	10	5			8
Розділ 2. Атоми з багатьма електронами						
Тема 1. Атом гелію.	2	2				
Тема 2. Багатоелектронні атоми.	12	2	2			8
Разом за розділом 2	14	4	2			8
Розділ 3. Стаціонарні стани молекул						
Тема 1. Молекула водню. Електронні стани двохатомних молекул.	2	2				
Тема 2. Коливання молекул.	4	2	2			
Тема 3. Обертальний рух жорсткої багатоатомної молекули.	4	2	2			
Тема 4. Взаємодія внутрішніх видів руху	10	2				8

молекули.						
Разом за розділом 3	20	8	4			8
Розділ 4. Взаємодія поля з речовиною						
Тема 1. Індуковане і спонтанне випромінювання. Вірогідність переходів	12	2	2			8
Тема 2. Форма і ширина спектральної лінії	2	2				
Тема 3. Поглинання і посилення випромінювання в середовищі. Ефект насичення.	4	2	2			
Тема 4. Матриця густини.	10	2				8
Разом за розділом 4	28	8	4			16
Розділ 5. Теоретичні засади квантової електроніки						
Тема 1. Властивості лазерного випромінювання.	5	3				2
Тема 2. Резонатори лазерів.	12	4				8
Тема 3. Балансові рівняння. Трирівнева і чотирирівнева системи.	12	4				8
Тема 4. Безперервний режим роботи лазера.	12	4				8
Тема 5. Модуляція добротності.	12	4				8
Разом за розділом 5	53	19				34
Розділ 6. Характеристики та режими роботи лазерів						
Тема 1. Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс.	17	3		6		8
Тема 2. Твердотільні лазери.	12	3		5		4
Тема 3. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.	11	3		4		4
Тема 4. Застосування лазерів.	2	2				
Разом за розділом 6	42	11		15		16
Усього годин	180	60	15	15		90

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Боровська теорія атома	1
2	Елементи квантово-механічної теорії атома водню	2
3	Оператори кутового та магнітного моментів. Атомні квантові	

	числа. Повний механічний і магнітний момент одноелектронного атома.	2
4	Тонка і надтонка структура рівнів енергії	2
5	Терми багатоелектронних атомів	2
6	Молекулярні рівні енергії. Коливальний рух. Обертальна енергія молекул. Населеність рівнів	2
7	Взаємодія поля з квантовою системою. Ширина спектральних ліній.	2
8	Поглинання і посилення випромінювання квантовою системою. Ефект насичення.	2
	Разом	15

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	ЕПР в рубіні.	4
2	ЯМР протонів водню.	2
3	Рубіновий лазер.	3
4	Неодимовий лазер.	2
5	He-Ne лазер.	2
6	CO ₂ – лазер.	2
	Разом	15

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання практичних і лабораторних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 5. Спектроскопія атомів в рідбергівських станах.	8
2	Розділ 2. Тема 2. Атоми з незаповненими внутрішніми оболонками	8
3	Розділ 3. Тема 4. Електронні, ковальні та обертальні стани молекул	8
4	Розділ 4. Тема 1. Радіаційні переходи	8
5	Розділ 4. Тема 4. Розрахунок поляризації активного середовища методом матриці густини.	8
6	Розділ 5. Тема 1. Характеристики лазерного випромінювання.	6
7	Розділ 5. Тема 2. Відкриті резонатори.	6
8	Розділ 5. Тема 3. Трирівневі й чотирирівневі лазерні системи.	8
9	Розділ 5. Тема 4. Лазер у безперервному режимі.	6
10	Розділ 5. Тема 5. Імпульсний режим лазера.	8
11	Розділ 6. Тема 1. Спектри ЕПР та ЯМР.	8
12	Розділ 6. Тема 2-3. Твердотільні та газові лазери.	8
	Разом	90

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

7. Методи навчання

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, з практичних занять та проведення лабораторних робіт.

Практичні заняття 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 та роботи на практичних заняттях 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, практик та лабораторних робіт..

8. Методи контролю

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен відповісти на 2-3 питання по темі роботи, що виконується. В разі неналежної підготовки до лабораторної роботи студент не допускається до її виконання. Разом шість лабораторних робіт оцінюються максимум у 24 бала.

Поточний контроль включає роботу на практичних заняттях та лабораторних роботах і самостійну роботу (50 балів).

Після вивчення перших двох розділів курсу проводиться письмова контрольна робота, яка оцінюється в 10 балів.

Підсумковий контроль – екзамен (40 балів).

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота																Екзамен	Сума	
Розділ 1					Розділ 2			КР	Розділ 3				Розділ 4					Разом
T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	60		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	40	100
1	1	1	1	1	1	1		12	1	1	1	1	1	1	1	1		
5					2			12	4				4					
Розділ 5								Розділ 6				Лаб. Роботи						
T1	T2		T3		T4			T5	T1	T2	T3	T4	24					
1	1		1		1			1	1	1	1	1						
5								4										

T1, T2 ... – теми розділів.

КР — контрольна робота, передбачена навчальним планом

ЛБ – лабораторні роботи, передбачені робочим планом

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

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1. Виконання кожного завдання екзаменаційного білета 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 недоброчесність	
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 розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

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

$$\text{Оцінка} = (P1+P2+P3+P4)/4 ,$$

де P1, P2, P3, P4 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білету.

10. Рекомендована література

Основна література

1. Дюбко С.П., Баскаков О.І., Перепечай М.П., Тютюнник В.Б. Квантова радіофізика: Методичні вказівки та завдання до практичних занять. - Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. - 44 с.
2. М. Г. Находкін, Н. П. Харченко. Атомна фізика. Підручник. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. 2012 - 551 с.
3. О.П. Кобушкін, Атомна фізика. КПІ ім. Ігоря Сікорського Київ 2018 – 310 с.
4. М. В. Висоцький. Атомна, ядерна фізика та елементи квантової механіки. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка Київ 2019. 183 с.

5. Лазерна фізика : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / В. І. Григорук, П. А. Коротков, А. І. Хижняк. - 2-е вид. - К. : "МП Леся", 1999. - 526 с.
6. Основи квантової електроніки : навч. посіб. / О. О. Птащенко; Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. - О. : Астропринт, 2010. - 390 с.
7. Квантова електроніка : навч. посіб./ О. С. Кривець, О. О. Шматько, О. В. Ющенко. — Суми : Сумський державний університет, 2013. — 340 с.

Допоміжна література

8. Атомна фізика [Текст] : підручник / М. У. Білий, Б. А. Охріменко ; заг. ред. Л. А. Булавін. - К. : Знання, 2009. - 559 с.
9. Siegman A.E.: Lasers. University Science Books, 1986
10. William T. Silfvast: Laser Fundamentals. Cambridge University Press, 2004
11. Svelto O.: Principles of Laser. Springer, 2004
12. Verdeyen J.T.: Laser Electronics, Prentice Hall, 1995
13. Webb C.E.: Handbook of Laser Technology and Applications, Institute of Physics Publishing, 2004

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. Бібліотека книг з лазерів
<http://gen.lib.rus.ec/>