

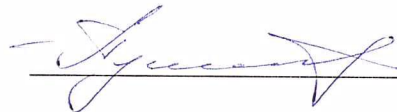
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки

Затверджено

На засіданні кафедри сенсорної та
напівпровідникової електроніки
факультету електроніки та
комп'ютерних технологій
Львівського національного університету імені
Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

Силабус з навчальної дисципліни

“ПРИЛАДИ І ПРИСТРОЇ КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ”,

що викладається в межах освітньо-професійної програми

“Електроніка та комп'ютерні системи”

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

для здобувачів зі спеціальності

171 Електроніка

Львів 2024 р.

Назва дисципліни	Прилади і пристрої квантової електроніки
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації 171 Електроніка
Викладачі дисципліни	Костик Людмила Василівна, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
Контактна інформація викладача	lyudmyla.kostyk@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kostyk-l-v Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген.Тарнавського, 107, лаб. 414
Консультації з курсу відбуваються	В режимі оф–лайн: згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107). В режимі он–лайн: на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/prylady-i-prystroi-kvantovoi-elektroniky/ Прилади та пристрої квантової електроніки General Microsoft Teams
Інформація про дисципліну	Курс «Прилади і пристрої квантової електроніки» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 7 семестрі в обсязі 3,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Прилади і пристрої квантової електроніки» присвячена як теоретичним аспектам функціонування пристроїв квантової електроніки, так і принципам роботи та будови основних типів оптичних квантових генераторів .
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни є формування у студентів ґрунтовних знань щодо фізичних основ роботи та будови основних типів приладів і пристроїв квантової електроніки , методів генерації вимушеного випромінювання та навичок їх застосування на практиці.

	<p>Цілі дисципліни: освоєння студентами знань про методи отримання інверсного стану речовини, фізичні процеси, які впливають на роботу квантових приладів, а також специфіку роботи, конструкції сучасних твердотільних, газових та напівпровідникових оптичних квантових генераторів, підсилювачів та їх оптимального застосування на практиці.</p>
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Рекомендована література.</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ю. І. Колесник, А. В. Кіпенський. Елементи та пристрої квантової електроніки: навч. посібник/Х.:НТУ «ХП», 2016.-320с. 2. Квантова електроніка: навчальний посібник / О.С. Кривець,. О.О. Шматько, О.В. Ющенко. - Суми : СумДУ, 2013. – 340 с. 3. Мінакова К.О., Зайцев Р.В., Кіріченко М.В. Квантова електроніка. Підручник – Дніпро: Середняк Т. К., 2023, – 187 с. 4. Птащенко О.О. Основи квантової електроніки в: навч. посібник./Одеса : Астропринт, 2010. - 392 с. 5. Григорчук В.І, Коротков П.А.,. Хижняк А.І. Лазерна фізика. / К.: МП “Леся”, 1997. 6. А.О.Матковський. Матеріали квантової електроніки : посібник / А. О. Матковський. – Львів : Ліга-Прес, 2000. – 292 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Навчальний посібник «Квантова електроніка». Частина 1. Для студентів факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського усіх форм навчання /Шмирьова Л.М., Бевза О.М., Слободян Н.В. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 98 с. 8. Навчальний посібник «Квантова електроніка». Частина 2. Для студентів факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського усіх форм навчання /Шмирьова Л.М., Бевза О.М., Слободян Н.В. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 101 с. 9. Панфілов І.П., Флейта Ю.В. Електронні та квантові прилади НВЧ: Навч. посібник для вузів. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2010. – 118 стор. <p>Методичне забезпечення:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Захарко Я.М. Костик Л.В. Лучечко А.П. Квантова електроніка // Методичні рекомендації до лабораторного практикуму. Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.-2012.-59 с. 2. Костик Л.В., Лучечко А.П., Васильців В.І. Квантова електроніка. Частина 2 // Методичні рекомендації до лабораторного практикуму. Львів- 2022 – 58 с.

<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг 105 год. Аудиторних занять – 64 год.: 32 год. - лекційних занять, 32 год- лабораторних занять. Самостійна робота - 41 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: принципи роботи основних квантових пристроїв, будову сучасних твердотільних, газових та напівпровідникових оптичних квантових генераторів та підсилювачів, їх основні параметри, область застосування;</p> <p>вміти: використовувати знання фізичних принципів роботи сучасних квантових пристроїв, прогнозувати можливості їх застосування в практичній роботі.</p> <p>Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.</p> <p>ЗК12. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.</p> <p>ФК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК3. Здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики та хімії для розуміння процесів твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки.</p> <p>ФК6. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.</p> <p>ФК7. Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструкцій пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК8. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.</p>

	<p>ФК9. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв для проектування мікропроцесорних та електронних систем.</p> <p>ФК10. Здатність застосовувати на практиці галузеві стандарти та стандарти якості функціонування пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК11. Здатність контролювати і діагностувати стан обладнання, застосовувати сучасні електронні компоненти та технічні засоби, виконувати профілактику, ремонт та технічне обслуговування електронних пристроїв та систем, монтувати, налагоджувати та ремонтувати аналогові, цифрові та оптичні модулі, розробляти та виготовляти друковані плати, розробляти програмне забезпечення для мікроконтролерів.</p> <p>ФК12. Здатність інтегрувати знання з фізичних засад електроніки, програмування, моделювання, схемотехніки, автоматизації та тестування компонент і пристроїв сучасної електроніки для розуміння основ функціонування електронних та комп'ютерних систем різного призначення.</p> <p>ПР1. Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ПР6. Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.</p> <p>ПР19. Застосовувати навички проектування, програмування та тестування компонент та пристроїв сучасної електроніки для розробки та налагодження електронних та комп'ютерних систем різного призначення.</p>
Ключові слова	Квантові підсилювачі і генератори, лазер, мазер, інверсний стан речовини, активне середовище, коефіцієнт підсилення, оптичні резонатори, закриті резонатори, добротність, моди резонатора, модуляція лазерного випромінювання.
Формат курсу	Очний.
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру.

<p>Пререквізити</p>	<p>Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких предметів: «Вища математика», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки», «Напівпровідникова електроніка», «Твердотільна електроніка», «Оптоелектроніка».</p>
<p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>Лекції, презентації, інтерактивні вправи, лабораторні завдання, групові та підгрупові завдання, дискусія. Робота в системі Microsoft Teams для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних завдань.</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>He-Ne лазер, напівпровідниковий лазер, монохроматори УМ-2, спектрофотометр «Specord M-40», вимірювач потужності оптичного випромінювання «Кварц 01», ФЕП-51, стабілізовані джерела живлення ФЕП, осцилографи типу С1-68, частотомір Ф5035, вимірювач напруженості магнітного поля ШП-8, Онлайн-доступ до платформ Microsoft Teams та Moodle.</p>
<p>Критерії оцінювання(окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання знань студента здійснюється за 100 бальною шкалою, 50 балів за поточну успішність і 50 – за іспит. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <p>лабораторні роботи: 30% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 30);</p> <p>контрольні заміри: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 20);</p> <p>іспит: 50% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 50).</p> <p>Загалом упродовж семестру 100 балів</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт та формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам.</p>

Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали підсумкового іспиту. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт) відбуваються шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 3 балів (10x3=30 балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

3 студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, самостійно реалізує 100 % від поставлених завдань для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі роботи та описі отриманих результатах;

2 студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, самостійно реалізує 75 % від поставлених для виконання роботи завдань, однак присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах;

1,5 студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

0,5 студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25 % від поставлених в роботі завдань;

0 студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.

Контрольні заміри проводяться у формі контрольних завдань (2 контрольні модулі по 10 балів кожен).

Кожен модуль містить 20 тестових питань з одним вірним варіантом відповіді.

Кожна правильна відповідь приносить 0,5 бала,

хибна відповідь — 0 балів

Іспит складається з двох частин:

перша - теоретична частина, що містить два питання з лекційного матеріалу (відповіді на кожне оцінюються у 20 балів: $2 \times 20 = 40$ балів).

друга - теоретична частина, що містить одне завдання згідно тем лабораторного практикуму (виконання оцінюється у 10 балів),

Критерії:

Бали за відповідь на перше та друге теоретичне питання	Критерії оцінювання
16-20	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, яка містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
11-15	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
6-10	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
1-5	Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання.
0	Відповідь відсутня.

Бали за відповідь на третє теоретичне питання	Критерії оцінювання
9-10	Завдання виконано повністю. Студент може пояснити отриманий результат.
6-8	Завдання виконано повністю. Однак, студент не може повністю пояснити отриманий результат.
3-5	Завдання виконано менше, ніж на 50 %. Студент не може повністю пояснити отриманий результат.
1-2	Завдання виконано менше, ніж на 25 %. Студент не може взагалі пояснити отриманий результат.
0	Завдання не виконано.

Питання до іспиту

1. Основні характеристики випромінювання. Закони класичної теорії випромінювання.
2. Енергетичні рівні квантових систем.
3. Спонтанне та індуковане випромінювання.
4. Можливості генерації та підсилювання у квантових системах.
5. Коефіцієнти Ейнштейна. Зв'язок між коефіцієнтами Ейнштейна.
6. Переріз поглинання для стаціонарних станів.

7. Час життя частинок на збуджених станах. Вплив безвипромінювальних переходів. Метастабільні енергетичні рівні та їх роль в лазерах.

8. Коефіцієнти поглинання і підсилення випромінювання. Зв'язок між ними.

9. Інверсна заселеність робочих рівнів активного середовища. Густина інверсії.

10. Заселеності енергетичних станів дворівневої системи в стаціонарному режимі збудження. Рівняння балансу.

11. Зв'язок між потужністю поглинання і заселеностями енергетичних станів.

12. Характеристика активного середовища в стані насичення.

13. Характеристики нерівноважних станів квантових систем. Особливості квантового стану з від'ємною температурою.

14. Активне середовище. Підсилення у квантових системах. Необхідна та достатня умова.

15. Форма та ширина спектральних ліній. Співвідношення контурів смуг поглинання і підсилення випромінювання.

16. Форм-фактор. Лоренцева форма спектральної лінії квантових систем.

17. Форм-фактор. Гаусова форма спектральної лінії квантових систем.

18. Способи створення інверсії населеності. Розрахунок порогової потужності для 3-х рівневої системи частинок в стаціонарному режимі збудження. Порогова умова.

19. Розрахунок порогової потужності для 4-х рівневої системи частинок в стаціонарному режимі збудження. Порогова умова. Співставлення 3-х та 4-х рівневих схем ОКГ.

20. Резонатори у квантовій електроніці. Основні функції резонатора. Класифікація режимів роботи лазерів.

21. Об'ємний резонатор (НВЧ діапазону). Моді НВЧ резонатора.

22. Оптичний резонатор. Повздовжні (або аксіальні) та поперечні моди оптичного резонатора.

23. Стійкі та нестійкі резонатори. Добротність. Модуляція добротності ОКГ та режим синхронізації мод.

24. Методи і схеми селекцій мод. Селекція аксіальних (подовжніх) мод та поперечних власних типів коливань резонаторів.

25. Різні типи резонаторів.

26. Когерентність, інтерференція і поляризація лазерного випромінювання.

27. Елементи оптичних схем лазерів.

28. Загальна характеристика твердотільних лазерів. Вимоги до активних середовищ твердотільних ОКГ.

29. ОКГ на рубіні . Енергетичні рівні іонів Cr^{+3} в рубіні. Вплив кристалічного поля на енергетичні рівні іонів Cr^{+3} . Схема генерації. Будова ОКГ на рубіні.
30. Будова і принцип роботи лазера на Nd^{3+} в YAG кристалі. Основні характеристики та режими роботи неодимового лазера на кристалах ітрій-алюмінієвого гранату.
31. Особливості роботи Nd лазерів в стеклах. Характеристики та застосування неодимового лазера.
32. Загальна характеристика, конструкція та принцип дії волоконного твердотільного квантового підсилювача та генератора.
33. Особливості твердотільних волоконних лазерів. недоліки та переваги волоконних підсилювачів та генераторів порівняно з іншими типами лазерів, зазначте сфери їх застосування.
34. Дисконий лазер на Nd^{3+} :YAG кристалі. Особливості конструкції, активного елемента, накачування Принцип дії лазера.
35. Дисконий лазер на Yb^{3+} :YAG кристалі. Особливості конструкції,. Енергетична діаграма іона Yb^{3+} в YAG кристалі. Дисконий лазер на Yb^{3+} :YAG кристалі.
36. Ербієві та гольмієві лазери. Переваги мікрочіпових лазерів.
37. Напівпровідникові лазери. Фізичні принципи роботи інжекційного лазера. Порогова умова генерації. Спектральні і енергетичні характеристики
38. Гетеропереходи. Однобічні гетероструктури (ОГС). Будова та принцип дії лазера на ОГС.
39. Двохсторонні гетероструктури (ДГС). Будова та принцип дії лазера на ДГС. Електронне та оптичне обмеження.
40. Лазери на квантових ямах, нитках та точках
41. Напівпровідникові лазери з електронним та оптичним збудженням.
42. Особливості експлуатації лазерних діодів. Застосування напівпровідникових лазерів
43. Мазери та лазери. Особливості газових лазерів. Методи створення інверсної заселеності.
44. Будова та основні характеристики ОКГ на суміші гелій–неон. Спектр випромінювання та особливості лазера. Схема лазерної генерації.
45. Особливості молекулярних спетрів. Характеристика CO_2 лазера. Методи створення інверсії. Принцип роботи та конструкція. Газодинамічні CO_2 лазери.
46. Іонний аргоний лазер. Принцип дії лазера.
47. Лазери на ексимері. Лазери на розчинах барвників.
48. Газова радіоспектроскопія. Порогова умова генерації мазера на молекулах аміаку. Принцип дії мазера. Будова молекулярного генератора на молекулах аміаку.

	<p>49. Квантові підсилювачі. НВЧ діапазону. Властивості парамагнітних кристалів. Квантові стандарти частоти.</p> <p>50. Електронний парамагнітний резонанс. Парамагнітні квантові підсилювачі на прикладі рубіну.</p> <p>Перелік питань і завдань для проведення підсумкової оцінки знань усіх тем курсу до контрольних робіт розміщено на веб-сторінці.</p>
Опитування	<p>Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.</p>

СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література . Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1	Тема 1. Основні поняття та визначення. Предмет квантової електроніки Історія створення мазерів лазерів та перспективи розвитку квантової електроніки. Загальна характеристика приладів квантової електроніки. Історія виникнення та методологічні аспекти квантової електроніки Використання приладів квантової електроніки в науці техніці та медицині. Основні характеристики електромагнітного випромінювання.	Лекція	1- 7	Вступне заняття. Інструкція з техніки безпеки. Загальна характеристика лабораторних робіт та вимог до їх оформлення і виконання. (2 год)	1 тиждень семестру
2	Тема 2. Поглинання і випромінювання електромагнітних хвиль речовиною. Зв'язок між коефіцієнтами Ейнштейна. Підсилення електромагнітних хвиль речовиною. Поглинання і випромінювання енергії при квантових переходах. Спонтанні та вимушені переходи. Умови термодинамічної рівноваги. Коефіцієнти Ейнштейна та їх фізичний зміст. Підсилення електромагнітних хвиль. Граничний коефіцієнт підсилення та коефіцієнт поглинання.	Лекція	1- 7	Лабораторна робота №1 Спектри люмінесценції іонів Cr^{3+} в рубіні. Розрахунок коефіцієнтів Ейнштейна для спонтанних та вимушених переходів в рубіні. (2 год)	2, тиж. семестру
3	Тема 3. Форма та ширина смуг поглинання і підсилення випромінювання. Вплив ефекту насичення на поглинання та підсилення електромагнітних хвиль речовиною. Інверсна заселеність. Поняття про від'ємну температуру Методи створення інверсії. Імовірнісний метод розрахунку заселеностей.	Лекція	1- 7	Лабораторна робота №2 Спектри поглинання активного елемента рубінового лазера. Визначення коефіцієнта підсилення активного середовища ОКГ. (2 год)	3 тиж. семестру

	Дворівнева система в лазерах. Ефект насичення та його використання. Форма спектральної лінії квантових систем..				
4	Тема 4. Трирівневі та чотирирівневі системи в лазерах з оптичним накачуванням. Порогові потужності збудження. Трирівневі системи в лазерах з оптичним накачуванням. Чотирирівневі системи в лазерах з оптичним накачуванням. Співставлення три- та чотирирівневих систем в лазерах. Вимоги до твердо тільних лазерних середовищ з оптичним накачуванням.	Лекція	1- 7	Лабораторна робота №3 Дослідження температурної залежності люмінесценції та часу життя збуджених станів рубіну. Визначення ймовірності спонтанних переходів. (2 год)	4 тиж. семестру
5	Тема 5. Резонатори в квантовій електроніці. Основні функції резонатора. Класифікація режимів роботи лазерів. Режим вільної генерації та імпульсна генерація. Об'ємні резонатори. Об'ємний резонатор (НВЧ діапазону). Моді Об'ємного резонатора.	Лекція	1-7	Лабораторна робота №4 Дослідження спектрів поглинання лазерних активних середовищ $Al_2O_3:Cr^{3+}$ $Y_3Al_5O_{12}:Cr^{3+}$. Визначення параметрів кристалічного поля.	5,6 тиж. семестру
6	Тема 6. Оптичні резонатори. Елементи теорії відкритих резонаторів. Оптичні резонатори лазерів. Резонатор з плоскими дзеркалами. Типи коливань. Модова структура лазерного випромінювання	Лекція	1, 2, 4	(4 год)	
7	Тема 7. Резонатори і частотні характеристики генерації лазерів і мазерів. Стійкі та нестійкі резонатори. Селекція типів коливань. Монохроматичність, когерентність, спрямованість, поляризація, ККД лазерного випромінювання. Частотно-часові характеристики.	Лекція	1,7	Лабораторна робота №5 Дослідження характеристик Модуляторів лазерного випромінювання. (2 год)	7 тиж. семестру
8	Тема 8. Властивості лазерного випромінювання. Режими генерації та модуляція лазерного випромінювання.	Лекція	3, 5, 6	Лабораторна робота №6 Випромінювальна рекомбінація в р-п переходах. Дослідження	8 тиж. семестру

	Режими вільної генерації та модуляції добротності твердо тільних ОКГ. Синхронізація мод. Типи пристроїв модуляції втрат у резонаторі. Елементи оптичних схем лазерів..			основних характеристики та параметрів світлодіодів (2 год)	
9	Тема 9. Енергетичні стани елементів перехідних груп в кристалах. Рубіновий лазер. Спін-орбітальний зв'язок. Оператор енергії та розщеплення енергетичних рівнів під дією “слабкого” та “середнього” кристалічного поля. Рубіновий лазер. Вплив кристалічного поля на енергетичні рівні іонів Cr^{+3} . Схема генерації. Будова ОКГ на рубіні. Будова і принцип роботи лазера на Nd^{3+} в YAG кристалі. Особливості роботи Nd лазерів в стеклах. Характеристики та застосування.	Лекція	1-7	Лабораторна робота №7 Юстування та вимірювання потужності та просторової когерентності випромінювання газового He-Ne лазера. (4 год)	9,10 тиж. семестру
10	Тема 11. Дисковий лазер на Nd^{3+} :YAG кристалі. Принцип дії лазера. Особливості конструкції, активного елемента, накачування Електронна конфігурація іона Yb^{3+} та енергетична діаграма іона Yb^{3+} в YAG кристалі. Дисковий лазер на Yb^{3+} :YAG кристалі. Переваги мікрочіпових лазерів..Ербієві та гольмієві лазери.	Лекція	1-7		
11	Тема 12. Волоконні підсилювачі та лазери. Волоконні підсилювачі та лазери. Будова волоконного лазера. Особливості твердотільних волоконних лазерів. недоліки та переваги волоконних підсилювачів та генераторів порівняно з іншими типами лазерів, зазначте сфери їх застосування.	Лекція	1-7	Лабораторна робота №8 Дослідження клістронного генератора НВЧ випромінювання в хвилеводному тракці. (4 год)	11,12 тиж. семестру
12	Тема 12. Напівпровідникові діодні лазери. Фізичні принципи роботи інжекційного лазера. Порогова умов	Лекція	1-7		

	генерації. Спектральні енергетичні характеристики Гетеропереходи. Однобічна гетероструктури (ОГС). Будова та принцип дії лазера на ОГС..				
13	Тема 13. Двохстороння гетероструктури (ДГС) Будова та принцип дії лазера на ДГС. Електронне та оптичне обмеження. Лазери на квантових ямах, нитках та точках. Напівпровідникові лазери з електронним та оптичним збудженням. Особливості експлуатації. Застосування напівпровідникових лазерів.		1-7	Лабораторна робота №9 Ядерний магнітний резонанс. Вимірювання магнітного поля методом ЯМР. (4 год)	13,14 тиж. семестру
14	Тема 14. Особливості газових лазерів. Методи створення інверсної заселеності. ОКГ на суміші гелій-неон. Спектр випромінювання. Схема лазерної генерації. Особливості модекулярних спектрів. Характеристика CO ₂ лазера. Методи створення інверсії. Газодинамічні CO ₂ лазери. Азотний лазер.. Іонний аргонний лазер. Принцип дії лазера.		1-7		
15	Тема 15. Газова радіоспектроскопія. Порогова умова генерації лазера на молекулах аміаку. Принцип дії лазера. Будова молекулярного генератора на молекулах аміаку. Мазер на пучку атомів водню. Квантові стандарти частоти		1-7	Лабораторна робота №10 Основи ЕПР спектроскопії. Вивчення будови радіоспектрометра.	15,16 тиж. семестру
16	Тема 16. Квантові прилади діапазону. Квантові підсилювачі. НВЧ діапазону. Властивості парамагнітних кристалів. Енергетичні рівні парамагнітних іонів. Електронний парамагнітний резонанс. Парамагнітні квантові підсилювачі на прикладі рубіну.		1-5.8	Узагальнення проблемних питань. (4 год)	