



# Квантова Електроніка

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський) / Другий (магістерський) / Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна / Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній / весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>108 год (34 лекції, 17 практичні заняття, 57 СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>МКР, блиц-опитування, активність на практичних заняттях, розрахункова робота тощо</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська/Англійська/Німецька / Французька</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Стронський Олександр Володимирович, 050-95-975-82, e-mail: <a href="mailto:alexander.stronski@gmail.com">alexander.stronski@gmail.com</a> , <a href="https://scholar.google.com/citations?hl=en&amp;user=T912ZwMAAAAJ">https://scholar.google.com/citations?hl=en&amp;user=T912ZwMAAAAJ</a> науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані <sup>1</sup> Практичні / Семінарські: Кандидат технічних наук, Доцент, Іванова Віта Вікторівна, <a href="http://apd.ipt.kpi.ua/infusions/blog/blog.php?author=11">http://apd.ipt.kpi.ua/infusions/blog/blog.php?author=11</a> <a href="https://scholar.google.com.ua/citations?user=A-t9gAAAAJ&amp;hl=uk&amp;authuser=1">https://scholar.google.com.ua/citations?user=A-t9gAAAAJ&amp;hl=uk&amp;authuser=1</a> науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані Лабораторні: науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані
Розміщення курсу	<a href="http://apd.ipt.kpi.ua/pages/102/kvantova-elektronika">http://apd.ipt.kpi.ua/pages/102/kvantova-elektronika</a>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Викладач обґрунтовує необхідність вивчення навчальної дисципліни, відповідаючи на питання «Чому майбутньому фахівцю варто вчити саме цю дисципліну?», визначає **мету, предмет дисципліни та програмні результати<sup>2</sup> навчання** (компетентності, знання, уміння, навички, досвід, послідовність дій в стандартних виробничих ситуаціях тощо), які студент/аспірант набуде після вивчення дисципліни з розподілом на окремі освітні компоненти (якщо дисципліна вивчається декілька семестрів).

Навчальна дисципліна «Квантова електроніка» є одним з заключних розділів курсу загальної фізики, присвяченим вивченню оптики і квантової фізики. Задачами кредитного модулю є

<sup>1</sup> Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

<sup>2</sup> Для нормативних дисциплін зазначається згідно матриці відповідності програмних компетентностей та результатів навчання в освітній програмі.

сформувати у студентів знання законів оптики, фізичної оптики, оптичної спектроскопії, атомної та квантової фізики, основних засад квантової механіки, фізики твердого тіла, та вміння їх застосування для інтерпретації та опису фізичних явищ та навчити студентів використовувати загальні принципи при вивченні курсів „Оптоелектроніка, „Оптика і фотоніка”, „Оптична голографія”, „Нелінійна оптика” для створення нових систем та технологій в цих напрямках.

Курс лекцій з квантової електроніки містить 34 години лекцій та 17 годин практичних занять. Семінарам та самостійній роботі студентів відводиться 57 годин часу. У лекціях розглядається сучасний стан фізичних процесів та явищ при взаємодії зв'язаних електронів у квантово-активних середовищах з електромагнітними полями для підсилення, генерації, прийому та перетворенню когерентного випромінювання оптичного діапазону довжин хвиль. В першому розділі викладається основний математичний апарат формалізму квантової теорії, питання когерентності, інтерференції та поляризації вимушеного випромінювання.

У другому розділі розглядаються принцип дії, характеристики та основні процеси в квантових приладах. Приводяться методики досліджень елементів схем і конструкції лазерів різних типів, квантових підсилювачів та пристроїв управління лазерним випромінюванням. Студенти повинні бути знайомі з відповідними розділами фізичної оптики, оптичної спектроскопії, фізики твердого тіла, газового розряду та атомної фізики.

Застосування квантових приладів у лазерній спектроскопії, інтерферометрії, голографії, когерентній та інтегральній оптиці, основним правилам технічної безпеки при роботі з лазерним випромінюванням та заходам з лазерної безпеки присвячується третій розділ.

В результаті вивчення курсу студенти повинні знати:

фізичні принципи та методи квантової електроніки;

засвоїти особливості квантових процесів в активних речовинах,

конструкції лазерів різних типів, квантових підсилювачів та пристроїв управління лазерним випромінюванням,

вміти навести оптико-фізичні схеми, енергетичні діаграми та характеристики різних типів лазерів, побудувати та пояснити принцип дії елементів, пристроїв та систем, що використовують лазерне випромінювання.

застосування квантових приладів у лазерній спектроскопії, інтерферометрії, голографії, когерентній та інтегральній оптиці,

основні правила технічної безпеки при роботі з лазерним випромінюванням та заходи з лазерної безпеки.

При цьому потрібно акцентувати увагу студентів на засвоєння особливостей квантових процесів в активних речовинах, коли відбувається взаємодія з електромагнітним полем, особливостям будови і принципам дії лазерів, перспективах розвитку лазерних систем та їх практичним застосуванням.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Зазначається перелік дисциплін, або знань та умінь, володіння якими необхідні студенту (вимоги до рівня підготовки) для успішного засвоєння дисципліни (наприклад, «базовий рівень володіння англійською мовою не нижче А2»). Вказується перелік дисциплін які базуються на результатах навчання з даної дисципліни.*

Дисципліна «Квантова електроніка» використовує знання та вміння, набуті у ході вивчення курсів «Атомна та квантова фізика», «Фізика твердого тіла», «Вища математика», «Диференціальні рівняння», «Оптика» (фізична оптика, оптична спектроскопія), та ін. та є фундаментальною при вивченні курсів „Оптоелектроніка, „Оптика і фотоніка”, „Оптична голографія”, „Нелінійна оптика” і важлива для створення нових систем та технологій в цих напрямках.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Надається перелік розділів і тем всієї дисципліни.*

#### **Розділ I. Фізичні основи квантової електроніки.**

##### **Тема 1. Вступ.**

Квантова електроніка – підсилення та генерації електромагнітного випромінювання на основі індукованих переходів квантової системи – видатне досягнення другої половини ХХ століття. Короткі історичні відомості про виникнення та розвиток квантової електроніки. Основні тенденції у розвитку сучасної квантової електроніки. Типи та схеми дії лазерів. Перспективи квантової електроніки та квантових приладів. Предмет та зміст курсу, бібліографія.

##### **Тема 2. Спонтанні та вимушені переходи.**

Температура як характеристика стану речовини. Принцип та формула Больцмана. Формула Планка. Ефективна температура джерела. Три типи джерел електромагнітного випромінювання: теплові, люмінесцентні та генератори. Рівноважний стан квантових систем, населеність енергетичних рівнів. Закон розподілу населеності квантових систем. Властивості вимушеного випромінювання. Співвідношення між імовірностями вимушеного і спонтанного випромінювання. Збудження квантової системи. Інверсія населеності. Поняття від'ємної температури. Спонтанні, вимушені квантові переходи та квантові переходи, що не супроводжуються випромінюванням. Ймовірності квантових переходів (спонтанного, вимушеного і такого, що не супроводжується випромінюванням). Дозволені та заборонені переходи.

##### **Тема 3. Взаємодія квантової системи з електромагнітним полем.**

Співвідношення Ейнштейна для спонтанного та вимушеного переходів. Від'ємний коефіцієнт поглинання. Квантові підсилення та поглинання. Умови для генерації лазерного випромінювання. Метод підвищення концентрації фотонів у моді. Оптичні резонатори. Поздовжні та поперечні моди. Різні види відкритих резонаторів. Умова стійкості резонатору. Нестійкі резонатори. Добротність резонатора. Ширина лінії генерації. Кінетичні рівняння лазерної системи.

##### **Тема 4. Схеми функціонування квантових генераторів.**

Дворівнева та трирівневі системи. Принцип роботи чотирирівневої системи. Кінетичні рівняння. Вимоги до активних середовищ.

##### **Тема 5. Імпульсні твердотільні оптичні квантові генератори.**

Рубіновий квантовий генератор. Рубін – активна речовина лазера. Діаграма енергетичних рівнів  $Cr^{3+}$ . Неодимовий квантовий генератор (YAG:Nd<sup>3+</sup>). ККД.

##### **Тема 6. Напівпровідниковий лазер.**

Концентрація електронів у зоні провідності. Розподіл Фермі-Дірака. Міжзонні переходи та оптичне поглинання в напівпровідниках. Імовірність переходу. Порогова густина струму інжекційного лазера,  $p-n$  перехід. Схема гомо- і гетеро структур для напівпровідникових лазерів. Збудження електронним бомбардуванням.

##### **Тема 7. Газовий лазер.**

Механізми збудження газових лазерів. Накачування електронним ударом. Зіткнення першого та другого роду. Накачування дисоціацією. Оптичне накачування. Теплове накачування. Гелій-неоновий лазер. Три основні канали генерації. Аргоновий та  $CO_2$  лазери.

### **Тема 8. Динаміка генерації лазера.**

Рівняння опису роботи лазера. Опис поля в резонаторі. Матеріальні рівняння. Дворівнева молекула. Трирівнева та чотирирівнева молекули. Рівняння багатомодового лазера. Стаціонарна генерація лазера. Вплив системи енергетичних рівнів. Вплив просторової неоднорідності поля мод на характеристики лазерного випромінювання. Вплив спектральної неоднорідності активного середовища.

### **Тема 9. Лазер з модуляцією добротності резонатора.**

Перемикачі на середовищах з насиченим поглинанням. Оптико-механічні та дискові перемикачі. Електрооптичні перемикачі. Режим синхронізації мод. Спектральні характеристики лазерного випромінювання.

### **Тема 10. Управління спектральним складом випромінювання лазера.**

Принцип управління довжиною хвилі лазерного випромінювання. Характеристики перебудови частоти випромінювання лазера. Енергетичні характеристики лазера з довжиною перебудованої хвилі.

### **Тема 11. Квантові підсилювачі**

Класифікація оптичних квантових підсилювачів (ОКП). Умова самозбудження. Схеми та моделі ОКП. Коефіцієнт підсилення, смуга підсилення, добротність, втрати та інші параметри ОКП. Шуми в оптичних квантових підсилювачах. Застосування ОКП.

### **Тема 12. Нелінійні ефекти. Інтегральна та волоконна оптика**

Взаємодія світла з середовищем в лінійній та нелінійній оптиці. Сильні та слабкі світлові поля. Просторовий та часовий синхронізм. ефекти нелінійної оптики: оптичне детектування, генерація вищих гармонік, гетеродинирування світла, параметричний генератор світла, вимушене розсіювання світла Манделштама – Брилюена, вимушене комбінаційне розсіювання світла, самофокусування світла. Основи інтегральної оптики. діелектричні хвилеводи. Оптичні елементи зв'язку. хвилеводні підсилювачі та генератори. Елементи керування.

### **Тема 13. Лазерна спектроскопія.**

Унікальні характеристики лазерного випромінювання. Поза резонаторна лазерна спектроскопія. Нелінійна лазерна спектроскопія. Дистанційна спектроскопія КР світла. Блок-схема лідару. Внутрішньо резонаторна лазерна спектроскопія.

### **Тема 14. Лазерні гіроскопи.**

Модель лазерного гіроскопу (ЛГ). Особливості конструкцій та технології виготовлення ЛГ. Волоконно-оптичні та інтегрально-оптичні гіроскопи.

### **Тема 15. Оптична голографія.**

Принципи голографії. Різні типи голограм: Габора, Френеля, Фраунгофера, Денисюка. Запис голограм та їх властивості. Відновлення зображення, особливості голографічних зображень. Основні схеми запису голограм. Джерела світла та матеріали для голографії. Приклади застосування голограм.

### **Тема 16. Лазери у технологічних процесах електронної техніки.**

Методи формування та фокусування лазерного випромінювання. Застосування лазерів для різання, зварювання, обробки тонких плівок. Застосування лазерів для обробки матеріалів, конструктивних елементів. Вибір технологічного обладнання та типу лазерів.

### **Тема 17. Біологічна дія лазерного випромінювання. Лазерна безпека.**

Біологічна дія лазерного випромінювання Застосування лазерного випромінювання у медицині. Основні правила технічної безпеки при роботі з лазерним випромінюванням. Заходи з лазерної безпеки.

**Тема 18. Основи оптичної пам'яті.** Основні принципи оптичної пам'яті. Оптичні середовища. Фазовозмінні середовища. Голографічний запис інформації. Запис та відтворення інформації з використанням оптичних дисків.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

*Зазначається: базова (підручники, навчальні посібники) та додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни.*

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Springer Handbook of Lasers and Optics Editor: Prof. Dr. Frank Träger 2007, Springer Science+Business Media, 1331pp.
2. J.Ye and S.T.Cundiff Femtosecond optical frequency comb: principle, operation, and applications.- Springer.-2005.-359P.
3. W.S.C.Chang Principles of Lasers and Optics.-Cambridge University Press.-2005.-245P.
4. W.T.Silfvast Laser Fundamentals. Second edition.- Cambridge University Press.-2004.-625P.
5. W.Demtröder Laser spectroscopy.-Sprenger.-2003.-979P.
6. Osche G.R. Optical detection theory for laser applications.-2002.-405P.
7. M.J.Weber Handbook of Lasers.-CRC Press LLC.-2001.
8. M.E.Fermann, A.Galvanauskas, G.Sucha Ultrafast lasers.-Marcel Dekker, Inc. 2001.-767P.
9. O.Svetlo, D.C.Hanna Principles of Lasers.-Springer.-1998.-595P.
10. В.І.Григорук, П.А. Коротков, Хижняк А.І. Лазерна фізика Київ МП „Леся”.-1997.-479с.
11. J.T.Verdeyen Laser Electronics.Third Edition.-1995.-779P.
12. Quantum well lasers.-Academic Press, Inc.-1993.-501P.
13. W.M.Steen Laser Material Processing-Springer.-1991.-253P.
14. B.E.A.Saleh Fundamentals of Photonics .-John Wiley&Sons.-1991.
15. Amnon Yariv Quantum Electronics.-Third Edition.-Wiley&Sons.-1989.-669P.
16. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. Учебник. 2-е издание. К.: Вища школа, 1988.-382с.
17. A.E.Siegman Lasers.-University Science Books.-1986.-1267P.
18. J.T.Luxon and David E.Parker Industrial lasers and their applications.-Prentice Hall, Inc.-1985.-245P.
19. Т.Мосс, Г.Баррел, Б.Эллис Полупроводниковая оптоэлектроника М.: Мир.-1976.-431с.
20. Л.И.Миркин Физические основы обработки материалов лучами лазера. И-во Московского университета, 1975.-384с.
21. А.Ярив Квантовая электроника и нелинейная оптика М.-«Советское Радио».-1973.-456с.

#### **Додаткова література**

1. І.В.Фекешгазі, В.Ф.Когденко Нелінійна оптика напівпровідників, «Знання», Київ.-1975.-63С.
2. М.Мілер Голографія Л.:”Машиностроение”.-1979.-207с.
3. Физика полупроводниковых лазеров.-М.:Мир:, 1989.-310с.
4. Р. Пантел, Г. Путхоф Основы квантовой электроники. М. «Мир», 1972.-384с.
5. J.Hecht The laser guide book McGraw Book Company, 1986.-381с.

Можна надати рекомендації та роз'яснення:

- де можна знайти зазначені матеріали (бібліотека, методичний кабінет, інтернет тощо);
- що з цього є обов'язковим для прочитання, а що факультативним;
- як саме студент/аспірант має використовувати ці матеріали (читати повністю, ознайомитись тощо);
- зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни.

Бажаємо зазначати не більше п'яти базових джерел, які є вільно доступними, та не більше 20 додаткових.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Надається інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, лабораторні) та надаються рекомендації щодо їх засвоєння (наприклад, у формі календарного плану чи деталізованого опису кожного заняття та запланованої роботи).

#### РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ

№	Найменування тем	Розподіл за семестрами та видами занять			
		Всього	Лекції	Лабор.	СРС
		108	34	17	57
1	Вступ	2	2		
2	Спонтанні та вимушені переходи	4	2		2
3	Взаємодія квантової системи з електромагнітним полем.	6	2		4
4	Схеми функціонування квантових генераторів.	4	2		2
5	Імпульсні твердотільні оптичні квантові генератори.	8	2		6
6	Напівпровідниковий лазер.	10	2	4	4
7	Газовий лазер.	10	2	4	4
8	Динаміка генерації лазера.	4	2		2
9	Лазер з модуляцією добротності резонатора.	4	2		2
10	Управління, модуляція та формування лазерного випромінювання	11	2	5	4
11	Квантові підсилювачі	4	2		2
12	Нелінійні ефекти. Інтегральна та волоконна оптика	10	2	4	2
13	Лазерна спектроскопія.	6	2		4
14	Лазерні гіроскопи.	10	2		6
15	Оптична голографія.	6	2		4
16	Лазери у технологічних процесах електронної техніки.	5	2		3
17	Біологічна дія лазерного випромінювання. Лазерна	6	2		5



	безпека.				
	Всього	108	34	17	57

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

*Зазначаються види самостійної роботи (підготовка до аудиторних занять, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, розв'язок задач, написання реферату, виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи тощо) та терміни часу, які на це відводяться.*

Самостійна робота студента включає підготовку до аудиторних занять, розв'язок задач, написання реферату, виконання розрахункової роботи, виконання контрольних робіт тощо, у відповідності з календарним планом (див. п.5).

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

*Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом:*

- *правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних);*
- *правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо);*
- *правила захисту лабораторних робіт;*
- *правила захисту індивідуальних завдань;*
- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів;*
- *політика дедлайнів та перескладань;*
- *політика щодо академічної доброчесності;*
- *інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.*
- **Відвідування занять**
- Відвідування лекцій, практичних та лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання практичних завдань та успішного написання МКР, а також виконання РР. В разі великої кількості пропусків студент може бути недопущений до заліку, якщо не встигне виконати навчальний план.
- **Пропущені контрольні заходи**
- Результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.
-

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР, тест тощо

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен / залік / захист курсового проекту (роботи)

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання / зарахування усіх лабораторних робіт / семестровий рейтинг більше XX балів.

### Система оцінювання

№ з/п	Контрольний захід	Макс. бал	Ваговий коеф.	Кіл-ть	Всього
1.	МКР (ч. 1, ч.2)	10	1	2	20
2.	Реферат	15	1	15	15
3.	Бліц-контроль на лекційних заняттях	15	1	10	15
4.	Активність на практичних заняттях	10	1	5	10
5.	Розрахункова робота	10	1	1	10
6.	Залікова КР по практичних заняттях	30	1	1	30
	Всього				100

### Семестрова атестація студентів

Обов'язкова умова допуску до <u>екзамену</u> /заліку		Критерій
	загальний рейтинг	RD $\geq$ 60
2	Модульна контрольна робота (ч. 1, ч.2)	Ч. 1 та Ч. 2 написані на позитивну оцінку (3 з 5 кожна)
3	Практичні заняття	Виконані всі роботи на позитивну оцінку (разом 24 з 40)
4	Розрахункова робота	Виконані всі завдання на позитивну оцінку (разом 6 з 10)

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено



## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ З КУРСУ „КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА”

#### Розділ І.

- Спектри випромінювання.
- Ймовірності квантових переходів.
- Квантове підсилення активної речовини, інверсія населеності рівнів.
- Ширина та форма спектральної лінії випромінювання, розширення спектральної лінії.
- Кінетичні рівняння для 2-х та 3-х рівневих квантових систем.
- Методи та схеми створення інверсії населеності рівнів, схеми оптичної накачки.
- Інтерференція лазерного випромінювання; оптична схема та рівняння інтерференції лазерних пучків.
- Як розуміти розподіл населеності енергетичних рівнів квантової системи по Больцману?
- Що таке активна речовина?
- Коефіцієнти Ейнштейна. Як оцінити нерівноважний стан квантової системи?

#### Розділ 2.

- Діаграма енергетичних рівнів рубіну.
- Чотирьох рівневі лазери, характеристики YAG.
- Методи стабілізації активної речовини.
- Функції, характеристики та типи оптичних резонаторів.
- Втрати у резонаторі, добротність резонатора.
- Схеми та характеристики селекції мод (подовжніх та поперечних).
- Газорозрядні лазери, їх конструктивні особливості.
- He-Ne лазер, робоча діаграма енергетичних рівнів.
- Іонні лазери, характеристики  $Ar$  лазеру та діаграма енергетичних рівнів.
- Молекулярні лазери, характеристики  $CO_2$  лазеру та діаграма енергетичних рівнів.
- Схема лазеру з електрооптичним затвором.
- Фізичні ефекти, що використовуються для модуляції лазерного випромінювання.
- Метод та схема стабілізації частотної характеристики лазеру.
- Для чого необхідно стабілізувати температурне поле кристалу активної речовини?
- Коефіцієнт квантового підсилення активної речовини.
- Як виникає підсилення та формується моди коливань в активному оптичному резонаторі?
- Як здійснюється збудження газів при співударах їх атомів з електронами?
- Який принцип створення інверсії квантових систем?
- Які методи збудження газів, рідких активних середовищ, напівпровідників, люмінесцентних кристалів?
- Методи та схеми накачки імпульсних твердотільних та газових лазерів. Що спільного та чим відрізняються методи накачки для цих лазерів?
- Від яких характеристик залежить порогова енергія накачки?
- Що називається часом життя збудженого стану та як він визначається?
- Оптичні квантові підсилювачі.
- Фізичні процеси у напівпровідникових активних речовинах; непрямі квантові переходи.
- Принципові схеми оптичних квантових підсилювачів.
- Просторове формування лазерного випромінювання.
- Гетероструктури, гетеролазери, їх схеми та характеристики.
- Напівпровідниковий інжекційний лазер.
- Електрооптичний ефект, е.-о.-модулятори.

#### Розділ 3.

- Характеристики випромінювання інжекційного напівпровідникового лазерного діоду.
- Лазерна спектроскопія. Лазерне дистанційне зондування (лідар).
- Лазерний гіроскоп.
- В чому полягає принцип голографії? Запис та відтворення голографічних зображень.
- Оптична голографія, де її можна застосувати?
- Як застосовується лазер у медицині та біології?
- Як лазерне випромінювання використовується в електронній промисловості?
- Фізичний процес взаємодії лазерного випромінювання з металами, технологічні можливості його застосування.
- Рівняння, типи та характеристики голограм.
- Принцип хвилеводного зв'язку.
- Хід променів у оптичному хвилеводі.
- Що таке планарні, волоконні, смугасті, каналні хвилеводи.
- Основні принципи оптичної пам'яті. Оптичні середовища. Фазовозмінні середовища.
- Голографічний запис інформації. Запис та відтворення інформації з використанням оптичних дисків.
- Лазерна безпека.
- 
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*
- *інша інформація для студентів/аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.*

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

##### **Складено**

Професор кафедри прикладної фізики, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Стронський Олександр Володимирович

посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

**Ухвалено** кафедрою \_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>3</sup> (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

---

<sup>3</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.