

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет
Кафедра експериментальної фізики

Затверджено
на засіданні кафедри експериментальної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 07.06.2023 р.)

Завідувач кафедри



Анатолій ВОЛОШИНОВСЬКИЙ

Силабус з навчальної дисципліни

“КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА”,

що викладається в межах ОПП “Комп’ютерні технології в прикладній фізиці”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Назва дисципліни	Квантова електроніка
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі дисципліни	Лектор: Малий Тарас Сергійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики; лабораторні заняття проводить: асист. Маньковська І.Г.
Контактна інформація викладачів	taras.malyi@lnu.edu.ua , m24tar@gmail.com ; iryana.mankovska@lnu.edu.ua
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка дисципліни	
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантова електроніка» є нормативною навчальною дисципліною з спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка викладається у VIII семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Значний інтерес до розвитку та використання квантової електроніки виникає через її очевидні перспективи у вирішенні нових наукових і технічних проблем, які не можна вирішити іншими засобами. Винахід лазерів призвів до особливого злиття оптики з радіофізикою, що призвело до глибшого розуміння концепцій когерентності та не лінійності оптичних явищ.
Мета та цілі дисципліни	<p>Мета даного курсу полягає у вивченні фізичних основ квантової електроніки та нелінійної оптики, а також основних характеристик відповідних пристроїв. Основний акцент робиться на вивченні фізики і технології лазерів, а також типових явищ нелінійної оптики.</p> <p>Завданням курсу є формування в студентів необхідних знань і навичок для вивчення фізичних основ та теоретичних принципів квантової електроніки і нелінійної оптики. Курс також передбачає систематичний огляд найновіших експериментальних даних в цих галузях.</p>
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. Довгий Я.О. Лазерний практикум. Навчальний посібник. Львів: В-во ЛНУ, 2004. – 210с. 2. Григоруk В.І., Коротков П.А., Хижняк А.І. Лазерна фізика. К., 1997. – 480 с. 3. Птащенко О.О. Основи квантової електроніки: навчальний посібник. - Одеса: Астропринт, 2010. - 392 с. 4. Білий М.У. Основи нелінійної оптики та її застосування. Навч. посібник. К.: Вид. центр "Київський Університет", 1999. – 172 с.

	<p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> Довгий Я.О., Кітик І.В. Електронна будова і оптика нелінійних кристалів. Львів: "Світ", 1996. – 176 с. Квантова електроніка : підручник / К. О. Мінакова, Р. В. Зайцев, М. В. Кіріченко; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Дніпро: Середняк Т. К., 2023. – 187. <p>Інформаційні ресурси: Wikipedia: https://uk.wikipedia.org</p>
Тривалість курсу	Один семестр (8 семестр)
Обсяг курсу	90 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 год. лекцій, 32 год. лабораторних занять та 26 год. самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Загальні компетентності (ЗК):</p> <p>ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК 6. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ЗК 9. Здатність працювати автономно.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності (СК):</p> <p>СК 1. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.</p> <p>СК 2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p>СК 3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.</p> <p>СК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p>Програмні результати навчання (ПРН):</p> <p>ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.</p> <p>ПРН 03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> фізичні принципи та закони, на яких ґрунтується робота лазерних квантових генераторів; властивості активних середовищ лазерів; процеси формування оберненої населеності енергетичних рівнів; методи стимулювання активних середовищ; принципи роботи оптичних резонаторів та елементи дифракційної теорії;

	<ul style="list-style-type: none"> • особливості будови лазерів різних видів; • енергетичні параметри лазерних систем різних видів; • часова та просторова когерентність лазерів; • параметри квантових генераторів з керованою добротністю; • застосування лазерів у голографії; • лазери для біомедицини, охорони довкілля, промисловості, та ін.; • класифікація лазерів та протоколи техніки безпеки при роботі з ними; • основні теоретичні принципи нелінійної оптики; • кристали для дослідження нелінійних процесів, симетрія, технологія отримання; • класифікація основних явищ нелінійної оптики; • фізичні принципи явищ нелінійної оптики: генерація вторинних гармонік, багатофотонне поглинання, вимуше комбінаційне розсіювання, тощо. <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> • визначати величину питомої інверсії в активних середовищах твердотільних лазерів; • проводити діагностику активних середовищ у лазерних системах • визначати ефективність оптичних освітлювачів; • використовувати основні методи юстування резонаторів, оцінювати їх якість та добротність; • визначати оптичні характеристики багатошарових лазерних дзеркал; • вивчати структуру мод лазерної генерації; • проводити відбір мод; • аналізувати внутрішню структуру генерації лазерного пучка; • застосовувати Q-модуляцію; • розраховувати параметри імпульсних твердотільних лазерів; • виконувати експериментальні вимірювання енергетичних параметрів лазерів; • задавати параметри розбіжності лазерного пучка; • оцінювати когерентність лазерного випромінювання; • виконувати налаштування лазерних систем з підсилювачами; • визначати структурні та симетричні параметри матеріалів, які виявляють високу ефективність у нелінійно-оптичних явищах..
Ключові слова	Лазери, нелінійна оптика, оптичні підсилювачі
Формат курсу	Очний: лекції, лабораторні заняття, самостійна робота та консультації для кращого розуміння тем.
Теми	Наведено у табл.1.
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: Електрика і магнетизм, Оптика, Атомна фізика.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися	Презентація, лекції, дискусія, виконання лабораторних робіт, підготовка доповідей, рефератів.

під час викладання курсу											
Необхідне обладнання	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальної лабораторії фотоніки та спектроскопії наноматеріалів (лазерної лабораторії та оптики і спектроскопії твердого тіла) (Гелій-неоновий лазер типу ЛГ-36А, автоколіматор типу АКТ-400, діоптрійна трубка, комплекс спектральний КСВУ-12, спектрограф СФ-4, фотопомножувач ФЕУ-79, нановольтамперметр Р 341, гелій-неоновий лазер типу ЛГ-56, інтерферометр Фабрі-Перо ИТ-28-30, спектрограф ИСП-51, мікрофотометр МФ-4, напівпровідниковий лазер, вимірювач потужності «Кварц-01»).										
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • робота на лекціях – 5 балів; • лабораторні роботи: 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів $30 = 6 \text{ робіт} \times 5 \text{ балів}$; • контрольний замір (модуль): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10; • оцінка за змістом наукових рефератів – 5 балів; Максимальна кількість балів 50. • іспит: 50% семестрової оцінки. <p>Разом – 100 балів.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Підсумкова максимальна кількість балів: 100. 										
	<p>Шкала оцінювання лабораторної роботи</p> <table border="1" data-bbox="603 1070 1481 2098"> <thead> <tr> <th data-bbox="603 1070 719 1104">Бали</th> <th data-bbox="719 1070 1481 1104">Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="603 1104 719 1509">5</td> <td data-bbox="719 1104 1481 1509">Здобувач самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="603 1509 719 1733">4</td> <td data-bbox="719 1509 1481 1733">Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="603 1733 719 1957">3</td> <td data-bbox="719 1733 1481 1957">Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="603 1957 719 2098">2</td> <td data-bbox="719 1957 1481 2098">Студент виконав розрахунки частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	5	Здобувач самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.	4	Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.	3	Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.	2	Студент виконав розрахунки частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час
Бали	Критерії оцінювання										
5	Здобувач самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускалися незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.										
4	Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт. При оформленні допущено незначні помилки, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.										
3	Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.										
2	Студент виконав розрахунки частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час										

	математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.
1	Студент провів розрахунки з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Здобувач не представив до захисту звіт з відповідної тематичної лабораторної роботи.

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача на лабораторних заняттях автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу. Незадовільну оцінку студент має право перескласти. Додатковий термін перездачі призначає викладач.

- контрольний замір (модуль): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10;

Оцінювання письмової модульної контрольної роботи (0–10 балів) враховує рівень сформованості знань та вмінь на кінцевому етапі вивчення навчальної дисципліни. Відповідно 10 балів здобувач отримує за 100–96% правильних відповідей, 9 балів – 95–91% прав. відпов., 8 балів – 90–86% прав. відпов., 7 балів – 85–81% прав. відпов., 6 балів – 80–76% прав. відпов., 5 балів – 75–71% прав. відпов., 4 бали – 70–66% прав. відпов., 3 бали – 65–61% прав. відпов., 2 бали – 60–56% прав. відпов., 1 бал – 55–51% прав. відпов., 0 балів – 50% і менше правильних відповідей.

Шкала оцінювання модульної контрольної роботи

Кількість балів	% правильних відповідей
10	100-96
9	95-91
8	90-86
7	85-81
6	80-76
5	75-71
4	70-66
3	65-61
2	60-56
1	55-51
0	50 і менше

Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.

	<p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання на контрольну роботу</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рубіновий лазер 2. Енергетична схема і спектри рубіна. 3. Мазери: принцип роботи, конструктивні особливості, основні характеристики. 4. Лазери на вільних електронах. 5. Моди коливальних резонаторів. 6. Газорозрядне збудження. 7. Активні і пасивні модулятори добротності лазерів. 8. Лазери на барвниках 9. Оптичне збудження. 10. Гелій-неоновий лазер та аргонний лазер. 11. Напівпровідникові лазери 12. Активні середовища напівпровідникових лазерних кристалів. 13. Неодимовий лазер 14. Ексімерні лазери. 15. Спонтанне та індуковане випромінювання. Інверсна заселеність енергетичних станів. 16. Лазери на барвниках. 17. Матеріали для дзеркал, методи виготовлення дзеркал та контролю їх оптичних характеристик. 18. Гелій-неоновий лазер. 19. Моди коливальних лазерів. 20. Енергетичні характеристики лазерного випромінювання. 21. Активні середовища рідинних лазерів. 22. Аргонний лазер.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Таблиця 1

Схема курсу «Квантова електроніка»

Тиж- день	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	Вступ	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
2	Фізичні основи квантової електроніки.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.		1 тиждень
3	Фізичні основи квантової електроніки.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
4	Фізичні основи та будова лазера.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
5	Фізичні основи та будова лазера	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
6	Активні середовища лазерів	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
7	Активні середовища лазерів	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
8	Системи збудження в різних типах лазерів	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
9	Системи збудження в різних типах лазерів	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
10	Оптичні резонатори в лазерах	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
11	Властивості лазерного випромінювання	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
12	Властивості лазерного випромінювання	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
13	Лазери з керованою добротністю.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
14	Оптичні підсилювачі	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 1-3 Д.: 2	1 тиждень
15	Нелінійна оптика. Основні фізичні принципи та умови прояву нелінійно-	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б: 4 Д.: 1	1 тиждень

	ОПТИЧНИХ ЯВИЩ			
16	Основні нелінійно-оптичні ефекти	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 1 год.	Б: 4 Д.: 1	1 тиждень