

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ Олексій НЕЧИПОРУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

“Квантова електроніка”

для студентів

галузь знань

**10 Природничі науки**

спеціальність

**105 Прикладна фізика та наноматеріали**

рівень вищої освіти

**перший освітньо-науковий**

освітньо-наукова програма

**“Еконофізика”**

вид дисципліни

**Курс самостійного вибору**

Форма навчання

**денна**

Навчальний рік

**2022/2023**

Семестр

**6**

Кількість кредитів ECTS

**3**

Мова викладання

**українська**

Форма заключного контролю

**залік**

### Викладач:

Ганна КАРЛАШ, кандидат фіз.-мат. наук, завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Розробник:**

**Ганна КАРЛАШ**, кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Завідувач кафедри математики та теоретичної  
радіофізики

\_\_\_\_\_ Ганна КАРЛАШ

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – формування знань про сучасний стан розвитку квантової електроніки, принципи функціонування пристроїв квантової електроніки, їх особливостей порівняно з класичними пристроями. Основна увага приділяється фізиці й техніці лазерів та ознайомленню з областями та способами їх застосування в сучасних інформаційних системах, різних галузях промисловості та в наукових дослідженнях. Формування уявлень про основні нелінійно-оптичні процеси, які відбуваються під час взаємодії високоенергетичного лазерного випромінювання з речовиною та використання таких явищ в науці й технологіях.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна “Квантова електроніка” базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: “Оптика”, “Атомна фізика”, “Фізика конденсованого середовища”, “Квантова механіка”.

Попередні вимоги:

*студент повинен знати:* основні закони, моделі, рівняння та співвідношення оптики, атомної фізики, квантової механіки.

*студент повинен вміти:* здійснювати аналіз та постановку фізичних задач, ідентифікувати оптимальні підходи до їх вирішення та використовувати необхідні в кожному конкретному випадку математичні методи.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни “Квантова електроніка” формує у студентів сучасні уявлення про основні напрямки розвитку квантової електроніки, фізичні та технологічні принципи функціонування високотехнологічних пристроїв квантової електроніки. Розглядаються принципові відмінності таких пристроїв від класичних аналогів, схеми, способи створення та керування параметрами квантових генераторів, Аналізується принцип роботи основних типів пристроїв квантової електроніки, вивчаються області їх застосування в сучасних інформаційних системах, в різних галузях промисловості, медицині та наукових дослідженнях. Розглядаються особливості взаємодії високоенергетичного електромагнітного випромінювання з різними середовищами, що обумовлюють нелінійно-оптичні ефекти. Проводиться аналіз типових явищ нелінійної оптики та їх прикладне використання.

### **4. Завдання навчальної дисципліни (навчальні цілі):**

1. Надати основні відомості курсу “Квантова електроніка”, які складають важливу частину загально-наукової підготовки бакалавра за спеціальністю “Прикладна фізика та наноматеріали”.
2. Сформувати уяву про місце квантової електроніки в сучасному науковому та технологічному просторі, допомогти зрозуміти використання законів квантової механіки для створення сучасних квантових пристроїв.
3. Навчити застосовувати основні відомості курсу у професійній діяльності, розвивати у студентів аналітичне мислення та науковий підхід.
4. Дисципліна спрямована на формування таких програмних компетентностей:

**ЗК-2.** Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

**ЗК-4.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

**ЗК-5.** Здатність спілкуватись державною мовою як усно, так і письмово.

**ЗК-7.** Навички використання інформаційних та комунікаційних технологій.

**ЗК-8.** Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

**ФК-2.** Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

**ФК-7.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії, економіки та комп'ютерних технологій.

**ФК-8.** Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, для пошуку методів можливих рішень задач у галузі економіки.

**ФК-9.** Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

### 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
<b>1</b>	<b>знати:</b>	лекційні заняття	письмові модульні роботи	до 50
1.1	Способи опису та характеристики квантової системи, її взаємодію з електромагнітним випромінюванням. Співвідношення між коефіцієнтами Ейнштейна для спонтанних та вимушених переходів.	лекція	Модульний колоквиум	до 5
1.2	Принципи та способи підсилення електромагнітного випромінювання під час взаємодії з речовиною, поняття від'ємної температури та від'ємного коефіцієнту поглинання	лекція	==	до 5
1.3	Схеми функціонування квантових генераторів (дво-, три- та чотирирівневі) та кінетичні рівняння для лазерних систем	лекція	==	до 5
1.4	Способи створення та керування інверсними станами в активних середовищах	лекція	==	до 5
1.5	Види та характеристики оптичних та НВЧ резонаторів	лекція	==	до 5
1.6	Основні режими роботи лазерів, способи керування добротністю та спектральним складом лазерного випромінювання	лекція	==	до 5
1.7	Основні типи та принципи роботи приладів квантової електроніки	лекція	==	до 5
1.8	Основні характеристики нелінійно-оптичних явищ. Природа нелінійної поляризації	лекція	==	до 5
1.9	Особливості взаємодії електромагнітного випромінювання з середовищами з квадратичною та кубічною поляризацією	лекція	==	до 5
1.10	Фізичні основи явища самофокусування світла та викривлення хвильового фронту	лекція	==	до 5
<b>2</b>	<b>вміти:</b>	лекційні заняття	письмові модульні роботи	до 40
2.1	Робити аналіз кінетичних рівнянь квантового генератора	лекція	Модульний колоквиум	до 10
2.2	Робити оцінки ефективності квантового генератора, підбирати параметри активного середовища, типу резонатора та режиму роботи квантового генератора в залежності від способу його використання	лекція	==	до 10
2.3	Застосовувати фізичні та математичні моделі для аналізу квантової системи та адаптації її для створення квантового підсилювача або генератора	лекція	==	до 10
2.4	Аналізувати природу та характер взаємодії високоенергетичного лазерного випромінювання з нелінійними середовищами	лекція	==	до 10
<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	лекційні заняття	письмові модульні роботи	до 5
3.1	Здатність грамотно будувати наукову	лекція	Модульний колоквиум,	до 3

	комунікацію як в усній так і письмовій формах, підбирати правильну термінологію		доповідь	
3.2	Здатність до командної роботи у великих науково-дослідницьких проектах	<i>лекція</i>	=//=	до 2
4	<b>автономність та відповідальність:</b>	лекційні заняття	письмові модульні роботи	до 5
4.1	Здатність до самостійного пошуку наукової літератури або інших джерел інформації для розв'язання поставленої перед студентом науково-дослідницької задачі	<i>лекція</i>	Доповідь	до 5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання**

Результати навчання дисципліни	Код																
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	4.1
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>																	
<b>ПРН-2.</b> Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики, методи розрахунків при розв'язанні економічних задач.	+	+			+	+		+					+				
<b>ПРН-3.</b> Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації	+	+					+							+			
<b>ПРН-7.</b> Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, економічних процесів, розробки приладів і наукоємних технологій	+	+	+		+					+			+				
<b>ПРН-9.</b> Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.																	

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання

Рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.10 [знання] – до 50 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 40%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання:

- **семестрове оцінювання:** Навчальний семестр має три змістовні модулі. Після завершення лекцій №8 та №16 проводяться письмові модульні колоквиуми, протягом семестру студент також має підготувати доповідь (у формі презентації або реферату) за тематикою курсу. Обов'язковим для допуску до заліку є: написання модульних колоквиумів та доповіді з кількістю балів не менше 12.
- **підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Завдання складається з 4 питань, які оцінюються по 10 балів. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, оцінка за залік не може бути меншою за **24 бали**.
- **умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр. Студенти, які протягом семестру сумарно набрали меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум **36 балів**, для одержання допуску до заліку повинні написати додаткове завдання.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних завдань здійснюються у відповідності до «Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті»

### 7.2. Організація оцінювання;

Оцінювання за формами контролю:

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – 12	Max. – 20
Модульний колоквиум 1	12	20
Модульний колоквиум 2	12	20
Доповіді	12	20

Орієнтований графік оцінювання:

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульний колоквиум 1	квітень
Модульний колоквиум 2	травень
Доповіді	протягом семестру
Добір балів/додаткове завдання	червень
Залік	червень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

Значення	Змістовні модулі	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою)	Рівень досягнень, %
<b>Відмінно</b>	90-100%
<b>Добре</b>	75-89%
<b>Задовільно</b>	60-74%
<b>Незадовільно</b>	0-59%

### 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Семінари	Самостійна робота
	<b>Тема 1. Властивості квантової системи. Взаємодія квантової системи з електромагнітним полем.</b>			
1	Вступ. Основні характеристики квантової системи. Магнетизм атома.	2	–	1
2	Взаємодія квантової системи з електромагнітним полем. Спонтанні та вимушені переходи. Прецесія Рабі.	2	–	2
3	Дипольне випромінювання. Дозволені та заборонені переходи. Форма та ширина спектральних ліній.	2	–	2
4	Підсилення у квантових системах. Від'ємний коефіцієнт поглинання. Метод підвищення концентрації фотонів у моді.	2	–	2
	<b>Тема 2. Активні квантові середовища. Створення стану інверсної заселеності. Резонатори квантових приладів. Режими генерації та модуляції лазерного випромінювання.</b>			
5	Енергетичні стани робочих речовин квантових приладів. Кінетичні рівняння лазерної системи. Схеми функціонування квантових генераторів.	3	–	2
6	Створення інверсних станів у газових середовищах, напівпровідниках, кристалах та склі.	2	–	3
7	Резонатори квантових приладів НВЧ. Оптичні резонатори. Стійкість і добротність резонатора.	3	–	4
8	Режими роботи лазера. Стаціонарна та нестаціонарна генерація лазера. Лазер з модуляцією добротності.	2		3
	<b>Тема 3. Основні типи приладів квантової електроніки</b>			
9	Квантові парамагнітні підсилювачі. Оптичні	2	–	3

	квантові генератори на діелектричних парамагнітних кристалах та склі. Рубіновий лазер. Неодимовий лазер. Мікродіодні твердотільні лазери.			
9	Рідинні оптичні квантові генератори на барвниках. Газові лазери. Гелій-неоновий лазер. Аргонний лазер. Молекулярні лазери на CO <sub>2</sub>	2	–	3
10	Напівпровідникові оптичні квантові генератори. Інжекційні лазери. Лазери на гетеропереходах. Поверхнево-випромінювальні інжекційні лазери. Лазери з електричним та оптичним збудженням.	2	–	4
11	Спектральні характеристики лазерного випромінювання. Лазерна спектроскопія.	2	–	3
<b>Тема 4. Основи нелінійної оптики</b>				
12	Вступ до оптики нелінійних явищ.	2		2
13	Класифікація нелінійно-оптичних процесів	2		2
14	Нелінійно –оптичні процеси у середовищах з квадратичною нелінійною сприйнятливістю.	2		2
15	Нелінійно –оптичні процеси у середовищах з кубічною нелінійною сприйнятливістю	2		2
16	Ефект генерації другої оптичної гармоніки	2		2
17	Умова фазового синхронізму.	2		2
18	Ефект самофокусування (самодефокусування) світла.	2		2
19	Викривлення хвильового фронту при самофокусуванні	2		2
<b>Всього</b>		<b>42</b>	<b>–</b>	<b>48</b>

Загальний обсяг **90** год., в тому числі:

Лекції **42** год.

Самостійна робота **48** год.

## 9. Рекомендована література:

### Основні джерела:

1. Кривець О.С., Шматько О.О., Ющенко О.В. Квантова електроніка, навчальний посібник, СумДУ, Суми, 2013, 340 с.

[https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstreamdownload/123456789/32034/1/Kvantova\\_elektonika.pdf;jsessionid=8A366800BC513B4919A360E3E5286E54](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstreamdownload/123456789/32034/1/Kvantova_elektonika.pdf;jsessionid=8A366800BC513B4919A360E3E5286E54)

2. Григорук В.І., Коротков П.А., Хижняк А.І., Лазерна фізика, Київ, 1999, 528 с.

3. K. Thyagarjan, Ajoy Ghatak, Lasers. Fundamentals and Applications, Second Edition, Springer, 2010, 674 pp.

4. William T. Silfvast, Laser Fundamentals, Second Edition, Cambridge University Press, 2004, 670 pp.
5. Pradip Narayan Ghosh, Laser Physics and Spectroscopy, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2018, 213 pp.
6. Колесник Ю.І., Кіпенський А.В., Елементи та пристрої квантової електроніки, навчальний посібник, НТУ «ХП», Харків, 2016, 322 с.
7. Robert W. Boyd, Nonlinear Optics, 3rd Edition, Elsevier, 2008, 620 pp.
8. Peter E. Powers, Josef W. Haus, Fundamentals of Nonlinear Optics, 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2017, 501 pp.
9. Білий М.У., Основи нелінійної оптики та її застосування, навчальний посібник, ВЦ “Київський університет”, Київ, 1999, 172 с.

**Додаткові і джерела:**

10. Шмирьова Л.М., Бевза О.М., Слободян Н.В., Квантова електроніка, частина 1, навчальний посібник, КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, 2019, 98 с.
11. Шмирьова Л.М., Бевза О.М., Слободян Н.В., Квантова електроніка, частина 2, навчальний посібник, КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, 2019, 101 с.
12. С.Л. Tang, Fundamentals of Quantum Mechanics for Solid State Electronics and Optics, Cambridge University Press, 2005, 222 pp.
13. Laser Pulses – Theory, Technology and Applications, Ed. by Igor Peshko, InTech, 2012, 554 pp.
14. Siegman A.E. Lasers. – Stanford University, Mill Valley, California, 1986. – 1304 p.  
[https://books.google.com.ua/books?id=1BZVwUZLTkAC&printsec=frontcover&dq=Lasers+Siegman&ei=-fbvSvSGKaCCygTRrsSDAw&hl=ru&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=1BZVwUZLTkAC&printsec=frontcover&dq=Lasers+Siegman&ei=-fbvSvSGKaCCygTRrsSDAw&hl=ru&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
15. Encyclopedia of Laser Physics and Technology. <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>
16. Oleksiy Shulika, Igor Sukhoivanov Eds., Advanced Lasers. Laser Physics and Technology for Applied and Fundamental Science, Springer Series in Optical Sciences, V. 193. – 2015. – 238 pp.