

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

_____ Наталія ГОРБОВЦОВА

« ____ » _____ 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Квантові інформаційні системи

для студентів

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма

Прикладна фізика та наноматеріали

вид дисципліни

вибіркова

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2023/2024

Семестр

4

Кількість кредитів ECTS

5

Мова викладання

українська,
англійська

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.

КИЇВ-2023

Розробник:

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

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики
та наноелектроніки

_____ Ганна КАРЛАШ

Протокол № __ від « __ » _____ 2023 р.

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

Протокол № __ від « __ » _____ 2023 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« __ » _____ 2023 року.

ВСТУП

1. Мета і завдання навчальної дисципліни "Quantum information systems (Квантові інформаційні системи)": ознайомлення студентів з сучасними розробками в області квантової фізики, включаючи квантові обчислювальні системи, теорією квантової інформації та основними підходами до кодування та передачі інформації, а також фізики низьковимірних структур. Ідеї квантової інформатики як новітнього наукового напрямку, що виник на стику квантової механіки і теорії інформації, показали, що закони квантової фізики відкривають зовсім нові можливості в цілому ряді актуальних завдань обробки інформації та в квантових обчисленнях.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Квантові інформаційні системи» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: «Загальна фізика» (включаючи оптику, механіку, електрику), «Статистична фізика», «Диференціальні рівняння», «Квантова механіка», «Теорія ймовірностей».

Попередні вимоги:

магістр повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення електрики та магнетизму, атомної фізики, статистичної фізики, квантової механіки та відповідні розділи теорії диференціальних рівнянь та теорії ймовірностей.

магістр повинен вміти: здійснювати постановку фізичних задач, ідентифікувати практично доцільні підходи до їхнього вирішення

3. Анотація навчальної дисципліни:

Розглядаються головні принципи та способи використання законів квантової механіки в області квантових обчислень, квантової інформації та квантової комунікації. Вивчаються базові принципи роботи квантових схем та приклади квантових алгоритмів, приклади квантових комунікаційних систем: квантова телепортація та квантова криптографія. Розглянуто принципи функціонування та приклади фізичної реалізації квантових комп'ютерів.

4. Завдання (навчальні цілі):

- надати студентам базові знання в області застосування квантових законів та квантових об'єктів у сучасних напрямках розвитку фізичної науки – створенні та вдосконаленні квантових інформаційних систем, квантових обчисленнях та, квантовій комунікації;

- розвивати у студентів науковий стиль мислення, для свідомого його застосування при поясненні різноманітних фізичних явищ;

- навчити студентів самостійно і творчо працювати, орієнтуватись у основних проблемах сучасної фізики та наукових підходах до їх розв'язання, використовуючи отримані знання з фізики.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

Загальні компетентності:

- ЗК 6. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК 10. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

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			
1	студент повинен знати:	<i>лекція</i>	Усний колоквіум, доповіді та презентації, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	До 50
1.1	основні характеристики квантових об'єктів	<i>лекція</i>	=//=	До 6
1.2	поняття про кубіт як основний носій квантової інформації, математичне представлення та способи керування станом	<i>лекція</i>	=//=	До 6
1.3	принципи та методи квантових обчислень, базові квантові схеми	<i>лекція</i>	=//=	До 6

1.4	базові квантові алгоритми на прикладі алгоритмів Дойча, Гровера, Шора	лекція	=//=	До 8
1.5	поняття про квантову криптографію, метод квантового розподілу ключів та основні протоколи КК.	лекція	=//=	До 6
1.6	способи оптичної реалізації квантових криптографічних систем	лекція	=//=	До 6
1.7	принципи реалізації квантових обчислень: будова та функціонування квантових комп'ютерів	лекція	=//=	До 6
1.8	прикладі фізичної реалізації квантових комп'ютерів.	лекція	=//=	До 6
2	студент повинен вміти :			До 35
2.1	аналізувати та оцінювати ефективність використання квантових об'єктів для реалізації систем квантової інформації	лекційні та самостійні заняття	Усне опитування, доповіді та презентації, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	До 6
2.2	здійснювати математичні перетворення стану однокубітних та багатокубітних квантових систем.			До 6
2.3	аналізувати та складати прості квантові схеми			До 6
2.4	розуміти фізичні принципи та способи функціонування систем квантової криптографії для випадку оптичної реалізації			До 6
2.5	розуміти фізичні принципи та способи функціонування квантових комп'ютерів			До 6
3	комунікація	лекційні і самостійні заняття		До 5
3.1	здатність бути відповідальним за внесок в роботу команди при вирішенні проблеми	лекційні заняття з використанням роботи у підгрупах	оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	До 5
3.2	Здатність до командної роботи у великих науково-дослідницьких проектах	лекційні заняття з використанням роботи у підгрупах	оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	
3.3	Здатність грамотно будувати наукову комунікацію як в усній так і письмовій формах, підбирати правильну термінологію	лекційні заняття з використанням роботи у підгрупах	оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	
4	автономність та відповідальність:	лекційні заняття	письмові модульні роботи	до 10
4.1	Здатність до самостійного пошуку наукової літератури або інших джерел інформації для розв'язання поставленої перед студентом науково-дослідницької задачі	лекція	Доповідь	

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни																
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	4.1
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 8 Знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних проєктів	+	+	+	+	+	+	+	+		+			+		+	+	+
ПРН 12 Інтерпретувати науково-технічну інформацію	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів: рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт і за результатами виконання самостійних завдань. Вклад результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні наступний:

- результати навчання 1.1 – 1.8 [знання] - до 50 %;
- результат навчання 2.1 – 2.5 [уміння] – до 35%;
- результат навчання 3.1 – [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1 – [автономність та відповідальність] – до 10%.

Форми оцінювання студентів:

семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом. Навчальний семестр має два змістові модулі: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-7, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 8-10. Після завершення відповідних тем проводяться два усні модульні колоквиуми. Для визначення рівня досягнення результатів навчання, завдання для модульних колоквиумів перевіряють рівень теоретичних знань та уміння аналізувати роботу конкретних фізичних задач. Обов'язковим для допуску до заліку є написання 1-го та 2-го модульних колоквиумів із кількістю балів не менше 10 за кожен позицію.

підсумкове оцінювання (у формі заліку): форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет іспиту складається із 4 питань, кожна позиція оцінюється від 0 до 10 балів. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання загалом не менш ніж 60 балів, при цьому оцінка за результатами навчання 2 [уміння] і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня, а оцінка за іспит не може бути меншою 30 балів.

умови допуску до підсумкового заліку: умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, аніж *критично-розрахунковий мінімум - 20 балів* за семестр. Студенти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів, аніж критично-розрахунковий мінімум 20 балів, для одержання допуску до заліку обов'язково повинні підготувати на необхідну граничну кількість балів додаткову доповідь та презентацію за матеріалом відповідного семестру.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу” від 1 жовтня 2010 року.

7.2. Організація оцінювання:

Оцінювання за формами контролю:

	ЗМ1		ЗМ2	
	<i>Min. – балів</i>	<i>Max. – балів</i>	<i>Min. – балів</i>	<i>Max. – балів</i>
Модульний колоквіум 1	5	10		
Доповідь/презентація	5	20		
Модульний колоквіум 2			5	10
Доповідь/презентація			15	20

Орієнтований графік оцінювання:

	<i>Орієнтовний період для здійснення відповідної форма оцінювання</i>
Модульний колоквіум 1	початок жовтня
Модульний колоквіум 2	кінець листопада
Доповідь/презентація (2)	протягом семестру
Добір балів/додаткова доповідь	початок грудня
Залік	кінець грудня

Розрахунок балів, які студент отримує при успішній здачі заліку:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Залік	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	10	20	30	60
Максимум	30	30	40	100

7.3. Шкала відповідності оцінок

Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ п/п	Назва теми	У тому числі		
		Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота
Тема 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КВАНТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ				
1	Вступ. Історія та фундаментальні принципи функціонування квантових інформаційних систем.	2	-	4
2	Постулати квантової механіки. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена та нерівності Белла. Сплутані квантові стани та способи їх отримання.	4	-	8
3.	Кубіти, математичне представлення та фізична реалізація. Перетворення стану квантової системи під дією зовнішнього збурення, прецесія Рабі. Керування станом кубіта. Відображення зміни стану квантової системи на сфері Блоха	4		6
4.	Основи квантової теорії інформації. Квантовий шум та квантові перетворення. Виправлення квантових помилок. Експериментальна обробка квантової інформації	6	2	6

Тема 2. КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ				
5.	Квантові обчислення. Однокубітні та багатокубітні логічні елементи. Універсальні квантові елементи	2		4
6.	Квантові схеми. Схема квантової телепортації	2		6
7.	Квантові схеми. Схема стисненого кодування, схема створення станів Белла	2		4
8.	Квантові алгоритми. Квантовий паралелізм.	4		6
9.	Квантове перетворення Фур'є та його застосування. Знаходження періоду. Алгоритм Шора.	4		6
10.	Квантовий алгоритм пошуку. Квантовий Оракул (алгоритм Дойча). Квантовий пошук в неструктурованій базі даних.	4		4
Тема 3. . КВАНТОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ				
	Основні принципи функціонування квантових комп'ютерів	2	-	10
11.	Квантові комп'ютери: фізична реалізація	4	-	10
12.	Квантова криптографія: принципи та основні протоколи	2	-	6
13.	Елементна база квантової криптографії: джерела та детектори поодиноких фотонів, керування квантовими станами фотонів.	4	-	10
14.	Фізична реалізація квантових криптографічних систем. Квантовий інтернет	4	-	10
	Всього	50	-	100

Загальний обсяг **150** год., в тому числі:

Лекцій – **50** год.

Самостійна робота - **100** год.

САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Способи генерації сплутаних електронних квантових станів. Перспективи оптичної обробки квантової інформації. Квантовий паралелізм. Алгоритм Гровера пошуку в неупорядкованій базі даних. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритми квантового моделювання. Фізична реалізація унітарних квантових операторів. Гармонічний осцилятор як модель квантового комп'ютера. Квантовий комп'ютер на оптичних фотонах. Кремнієві квантові точки: властивості та технологія створення. Нанодіамант: технологія та використання в квантових системах. Квантові комп'ютери на куперівських парах: способи реалізації та керування надпровідними кубітами. Квантові комп'ютери на іонах у пастках.

9. Рекомендовані джерела:

1. M. Nielsen, I. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2010
<http://mmrc.amss.cas.cn/tlb/201702/W020170224608149940643.pdf>
2. P. Kok, B. W. Lovett, Introduction to Optical Quantum Information Processing, Cambridge University Press, 2010
3. Lars Jaeger. The Second Quantum Revolution. From Entanglement to Quantum Computing and Other Super-Technologies, Springer, 2018
4. Quantum Information. Lectures from California Institute of Technology. <http://www.theory.caltech.edu/>
5. Bernard Zygelman. A First Introduction to Quantum Computing and Information. Springer, 2018
6. Карлаш Г.Ю. Квантові інформаційні системи, 2018, rex.knu.ua/for-students/books-for-study/QIS_Karlash.pdf
7. Остапов С.Е., Добровольський Ю.Г., Квантова інформатика та квантові обчислення, Чернівці, 2021, 95 с.

8. F. Xu, X. Ma, Q. Zhang, H.-K. Lo, and J.-W. Pan, Secure quantum key distribution with realistic devices, // Rev. Mod. Phys. 92, 025002 (2020).
9. Kollmitzer C., Pivk M. Applied Quantum Cryptography. –Springer. 2010
10. Pirandola et al. Advances in quantum cryptography. // Adv. Opt. Photonics 12, 1012 (2020)
11. Kurt Engesser, Dov M. Gabbay, Daniel Lehmann. Handbook of Quantum Logic and Quantum Structures, 2008
12. The Future of Quantum Information Processing, Science (special issue), Vol. 339, 2013
13. Willi-Hans Steeb, Yorik Hardi. Problems and Solutions in Quantum Computing and Quantum Information, World Scientific, 2004
14. Feynman R. Quantum mechanical computers // Foundations of Physics, **16** (1986) (6) С. 507-531.
15. Лозовський В.З., Третяк О.В. Фізика напівпровідників, Київ, ВПЦ "Київський університет", 2008