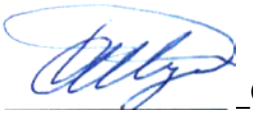
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“**ЗАТВЕРДЖУЮ**”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп’ютерних систем



_Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти Другий магістерський рівень вищої освіти
/
галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали
(шифр і назва)
освітня програма Радіофізика та електроніка
(шифр і назва)
спеціалізація
(шифр і назва)
вид дисципліни за вибором
(обов’язкова / за вибором)
факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

"__24_____" ___ червня_____2024 року, протокол №_6_

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Микола ДУБІНІН, доктор філософії, доцент кафедри квантової радіофізики.

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від "_20__"__ червня_____2024__ року № _11_

Завідувач кафедри квантової радіофізики

_____Вячеслав МАСЛОВ___
(підпис) (ім'я та прізвище)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) _____Радіофізика та електроніка_____
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) _____проф. Вячеслав МАСЛОВ_____

_Вячеслав МАСЛОВ_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем __

Протокол від "_06_"__червня____2024__ року № _6_

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

_____ (Олександр БУТРИМ)
(підпис) (ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “КВАНТОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки
_____магістр_____
(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напряму) 105 Прикладна фізики та наноматеріали

освітня програма ____Радіофізика та електроніка_____

спеціалізації_____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є
ознайомлення з основами квантових обчислень, квантової механіки та їх застосуванням в інформаційних технологіях. Основний акцент робиться на теоретичних і практичних аспектах квантових алгоритмів, квантової криптографії, квантового програмування та фізичних реалізацій квантових обчислювальних систем.
1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- Ознайомлення з принципами квантової механіки, що лежать в основі квантових обчислень.
- Вивчення основних квантових алгоритмів, таких як алгоритми Дойча-Йожи, Гровера та Шора.
- Розуміння основ квантової криптографії та її практичних застосувань.
- Застосування методів квантового програмування для розв'язання прикладних задач.
- Ознайомлення з фізичними реалізаціями квантових обчислювальних систем та сучасними технологічними досягненнями в цій сфері.
- Аналіз архітектур квантових комп'ютерів та їх інтеграції з класичними системами.
- Вивчення прикладних аспектів квантових інформаційних систем, включаючи квантові комунікації, квантове машинне навчання та квантове моделювання.

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин – 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
1-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
16
Лабораторні заняття

Самостійна робота

132 год.
у тому числі індивідуальні завдання

1.6. Заплановані результати навчання

Знати:
1. Принципи квантової механіки та їх застосування у квантових обчисленнях.
2. Основні квантові алгоритми: Дойча-Йожи, Гровера, Шора.
3. Принципи квантової криптографії та протоколи безпеки.
4. Фізичні реалізації квантових обчислювальних систем.
5. Архітектури квантових комп'ютерів та їх взаємодію з класичними системами.
6. Основи квантового програмування та інструменти для його реалізації.

Уміти:
1. Аналізувати квантові алгоритми та оцінювати їх ефективність.
2. Використовувати квантові обчислювальні платформи для розробки та тестування квантових алгоритмів.
3. Реалізовувати прості квантові алгоритми на практиці.
4. Застосовувати квантові методи для захисту інформації.
5. Встановлювати та налаштовувати середовища для квантового програмування.
6. Виконувати симуляції квантових систем для наукових та інженерних задач.

Знаходити:
1. Науково-технічну інформацію про квантові обчислення з різних джерел.
2. Актуальні дослідження та розробки у сфері квантових технологій.
3. Інформацію про фізичні реалізації квантових обчислювальних систем.

Класифікувати та аналізувати інформацію:
1. Оцінювати достовірність та актуальність отриманої інформації.
2. Аналізувати різні підходи та методи у квантових обчисленнях.
3. Порівнювати ефективність різних квантових алгоритмів.

Застосовувати:
1. Квантові алгоритми для розв'язання прикладних задач у фізиці та інших науках.
2. Методи квантового машинного навчання для обробки великих обсягів даних.
3. Квантові комунікаційні протоколи для забезпечення безпеки даних.
4. Технології квантового програмування для розробки інноваційних рішень.
5. Інструменти квантового моделювання для наукових досліджень.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи квантових інформаційних систем

Тема 1. Вступ до квантових інформаційних систем. Огляд класичної та квантової інформації. Квантові біти (кубіти) та їх властивості. Основні відмінності між класичними та квантовими системами.

Тема 2. Квантова механіка для квантових інформаційних систем. Принципи суперпозиції та заплутаності. Квантові стани та їх представлення. Основні оператори в квантовій механіці.

Тема 3. Квантові ворота та квантові схеми. Основні квантові ворота: X, Y, Z, H, S, T. Унітарні операції та квантові схеми. Реалізація простих квантових алгоритмів

Тема 4. Квантові алгоритми. Алгоритм Дойча-Йожи. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора.

Тема 5. Квантова криптографія. Основи квантової криптографії. Протокол BB84. Квантова розподілена ключа.

Тема 6. Квантові помилки та корекція квантових помилок. Типи квантових помилок. Код Шора. Кодові простори та корекція помилок.

Тема 7. Фізична реалізація квантових обчислювальних систем. Квантові точки, іонні пастки, надпровідні кубіти. Технологічні виклики та досягнення. Сучасний стан квантових комп'ютерів.

Тема 8. Архітектура квантових комп'ютерів. Класичні та квантові процесори. Гібридні системи. Моделі квантових обчислювальних пристроїв

Розділ 2. Прикладні аспекти квантових інформаційних систем.

Тема 9. Квантові комунікації. Принципи квантових комунікацій. Квантові мережі. Квантові телекомунікаційні протоколи.

Тема 10. Квантове машинне навчання. Основи квантового машинного навчання. Квантові алгоритми для машинного навчання. Приклади застосувань

Тема 11. Квантове моделювання. Квантові симуляції фізичних систем. Алгоритми квантового моделювання. Застосування у фізиці.

Тема 12. Квантові сенсори. Принципи роботи квантових сенсорів. Типи квантових сенсорів. Застосування квантових сенсорів.

Тема 13. Квантове програмування. Основи квантового програмування. Мови програмування для квантових обчислень. Платформи для квантового програмування.

Тема 14. Квантові обчислювальні платформи. Огляд сучасних квантових обчислювальних платформ. Вибір платформи для конкретних задач.

Тема 15. Безпека квантових інформаційних систем. Основні проблеми безпеки квантових систем. Захист інформації в квантових системах

Тема 16. Перспективи розвитку квантових інформаційних систем. Майбутні напрямки розвитку. Прогнози та виклики. Вплив квантових технологій на інноваційні процеси.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин	
	денна форма	
	усього	у тому числі

		л	сем.	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Основи квантових інформаційних систем						
Тема 1. Вступ до квантових інформаційних систем.	11	2				9
Тема 2. Квантова механіка для квантових інформаційних систем.	13	2	2			9
Тема 3. Квантові ворота та квантові схеми.	11	2				9
Тема 4. Квантові алгоритми.	12	2	2			8
Тема 5. Квантова криптографія.	10	2				8
Тема 6. Квантові помилки та корекція квантових помилок.	13	2	2			9
Тема 7. Фізична реалізація квантових обчислювальних систем.	12	2				10
Тема 8. Архітектура квантових комп'ютерів.	12	2	2			8
Разом за розділом 1	**94**	**16**	**8**			**70**
Розділ 2. Програмування в MATLAB						
Тема 9. Квантові комунікації.	10	2				8
Тема 10. Квантове машинне навчання.	11	2	2			7
Тема 11. Квантове моделювання.	10	2				8
Тема 12. Квантові сенсори.	12	2	2			8
Тема 13. Квантове програмування.	10	2				8
Тема 14. Квантові обчислювальні платформи.	12	2	2			8
Тема 15. Безпека квантових інформаційних систем.	9	2				7
Тема 16. Перспективи розвитку квантових інформаційних систем.	12	2	2			8
Разом за розділом 2	**86**	**16**	**8**			**62**
Усього годин	**180**	**32**	**16**			**132**

4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Огляд класичної та квантової інформації.	2
2.	Принципи суперпозиції та заплутаності в квантових системах.	2
3.	Основні квантові ворота та квантові схеми.	2
4.	Реалізація квантових алгоритмів: приклади та вправи.	2
5.	Квантова криптографія та її застосування.	2
6.	Корекція квантових помилок: теорія та практика.	2

7.	Фізичні реалізації квантових обчислювальних систем.	2
8.	Прикладні аспекти квантових інформаційних систем: квантові комунікації та квантове машинне навчання.	2
9.	**Разом**	**16**

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Порівняння класичної та квантової інформації. Тема 1.	9
2.	Вивчення принципів суперпозиції та заплутаності. Тема 2.	9
3.	Реалізація та симуляція квантових воріт. Тема 3.	9
4.	Принципи роботи алгоритму Гровера. Тема 4.	8
5.	Аналіз протоколу BB84 та його реалізація. Тема 5.	8
6.	Коди Шора для корекції помилок. Тема 6.	9
7.	Огляд сучасних технологій фізичної реалізації кубітів. Тема 7.	10
8.	Аналіз архітектури гібридних квантових систем. Тема 8.	8
9.	Дослідження сучасних квантових мереж. Тема 9.	9
10.	Реалізація простого алгоритму квантового машинного навчання. Тема 10.	8
11.	Огляд застосувань квантових симуляцій у фізиці, з прикладами реальних досліджень. Тема 11.	8
12.	Огляд сучасних квантових сенсорів та їх застосування. Тема 12.	8
13.	Огляд та вивчення документації та прикладів програм на обраній квантовій платформі (наприклад, Qiskit, Cirq або Q#). Тема 13.	8
14.	Порівняльний аналіз різних квантових обчислювальних платформ. Тема 14.	8
15.	Аналіз основних проблем безпеки квантових систем. Тема 15.	7
16.	Аналіз сучасних тенденцій та перспектив розвитку квантових технологій. Тема 16.	8
	Разом	**132**

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання не заплановано.

7. Методи навчання

.

Навчання проводиться у формі читання лекцій, проведення семінарських занять, на яких вирішуються завдання і розбираються неясні теоретичні питання, а також у вигляді самостійної роботи, в процесі якої освоюється новий навчальний матеріал і виконуються завдання і вправи.

8. Методи контролю

Засвоєння матеріалу з дисципліни забезпечується індивідуальними заняттями, які проводяться у формі лекцій і лабораторних занять, рішенням задач в класі і вдома, а також самостійною роботою.

На початку кожної лекції студентам будуть задаватися питання за матеріалами попередніх лекцій, за відповіді на які будуть нараховуватися бали. Крім того будуть проведені дві заплановані контрольні роботи, в яких студенти повинні дати письмові

відповіді на 10 - 15 питань за темами курсу. Повні відповіді на питання кожної контрольної роботи будуть зараховані в 10 балів.

До заліку студент повинен мати зошит з усіма лекціями і завданнями, які вирішувалися вдома і в аудиторії. Ці матеріали разом з відповідями на питання на лекціях будуть оцінюватися відповідно до таблиці наданої нижче.

9. Схема нарахування балів

<table>
<tr><td colspan="5">Поточний контроль, практичні роботи та самостійна робота</td><td rowspan="2">Залік</td><td rowspan="2">Сума</td></tr>
<tr><td colspan="4">Розділ 1</td><td>КР</td><td>Разом</td></tr>
<tr><td>Т1-2</td><td>Т3-4</td><td>Т5-6</td><td>Т7-8</td><td rowspan="5">20</td><td rowspan="5">60</td><td rowspan="5">40</td><td rowspan="5">100</td></tr>
<tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="4">Розділ 2</td></tr>
<tr><td>Т9-10</td><td>Т11-12</td><td>Т13-14</td><td>Т15-16</td></tr>
<tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
</table>

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Студент не допускається до заліку, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до заліку з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до екзамену шляхом виправлення низьких оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей установлюється викладачем, що проводить відповідні заняття і контрольні заходи.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. Виконання кожного завдання залікового білета оцінюється балом за таблицею

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв’язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недоброчесність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв’язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв’язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв’язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення	Задачу доведено до правильної кінцевої формулі і на тому припинено розв’язання

		відповіді ускладнює розуміння тексту	
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка заліку за 40-бальною шкалою розраховується за формулою (як приклад для трьох запитань в білеті):

Оцінка = (П1+П2+П3)/3 ,

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання залікового білету.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Watrous J. The Theory of Quantum Information. Cambridge University Press; 2018.
2. Thomas G. Wong. Introduction to Classical and Quantum Computing. Rooted Grove; 2022. 400 p.
3. Jack D. Hidary Quantum Computing: An Applied Approach. 1nd ed. Springer; 2019. 398 p.
4. Jack D. Hidary Quantum Computing: An Applied Approach. 2nd ed. Springer; 2022. 445
5. Карлаш Г.Ю. Квантові інформаційні системи. – Київ: факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2018. – 77 с.
6. Остапов С.Е., Добровольський Ю.Г. Квантова інформатика та квантові обчислення / С.Е.Остапов. Ю.Г. Добровольський - Чернівці: ЧНУ, 2021. - 99 с.
7. Крохмальський Т.Є. Вступ до квантових обчислень – Львів:ЛНУ, 2018. – 204с.
8. Nakahara M. Ohmi t. Quantum computing: from linear Algebra to physical realization. Boca Raton London, New York. 2008. 416 p.
9. Janos A. Bergou, Mark Hillery. Introduction to the Theory of Quantum Information Processing, Springer Science + Business Media New York, 2013, p. 150.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. www.coursera.org/learn/introduction-to-quantum-information
2. www.nature.com/subjects/quantum-information
3. https://www.thomaswong.net/introduction-to-classical-and-quantum-computing-1e4p.pdf