МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра комп'ютерних систем та технологій

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з науково-педагогічної роботи
_____
"___" _____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ1. ДИСЦИПЛІНА З ЗАГАЛЬНОГО ПЕРЕЛІКУ УНІВЕРСИТЕТУ КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ

Рівень вищої освіти	**другий (магістерський)**
Галузь знань	**12 «Інформаційні технології»**
Спеціальність	**126 Інформаційні системи та технології**
Освітньо-професійна програма	**Інформаційні системи та технології**

ОНУ

2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Квантові обчислення». – Одеса: ОНУ, 2023. – 13с.

Розробники: кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та технологій Коренкова Ганна Валентинівна

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № 1 від "30 " серпня 2023 р.

Завідувач кафедри _____ (Юрій ГУНЧЕНКО)

Погоджено із гарантом ОПП «Інформаційні системи та технології»

_____(Євгеній МАЛАХОВ)

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ

Протокол № 1 від " 31" серпня 2023 р.

Голова НМК _____ (Алла РАЧИНСЬКА)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № ___ від "____"_____20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № ___ від "____"_____20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>Денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="13">Загальна кількість: кредитів – 3

годин –90

Змістових модулів -3</td><td rowspan="13">Галузь знань
<u>12– інформаційні технології</u>

Спеціальність
126-Інформаційні системи та технології

Рівень вищої освіти: другий магисторський</td><td colspan="2">вибіркова</td></tr>
<tr><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>8 год</td><td>4 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>8 год.</td><td>4 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>74</td><td>82 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма підсумкового контролю:
залік</td></tr>
</table>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: отримання базових теоретичних знань в галузі квантової інформатики та розуміння закономірностей передачі, зберігання і перетворення інформації в мікро- і наносистемах, що підкоряються законам квантової механіки.

Завдання: Вивчення основних фізичних принципів функціонування пристроїв квантової інформатики – квантових комп'ютерів та пристроїв квантової комунікації.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

ІК. Здатність розв'язувати задачі дослідницького та інноваційного характеру у сфері інформаційних систем та технологій.

СК01. Здатність розробляти та застосувати ІСТ, необхідні для розв'язання стратегічних і поточних задач.

СКМ02. Здатність розв'язувати фізико-математичні задачі, пов'язані із моделюванням природних явищ або технологічних процесів, з використанням сучасних комп'ютерних методів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

знати:

- фізичні основи і принципи функціонування квантових комп'ютерів і пристроїв безпечної передачі інформації по квантовим каналах;
- відмінності між класичними та квантовими розрахунками;
- основні моделі квантових комп'ютерів та підходи для їх реалізації

вміти:

- застосовувати базові науково-теоретичні знання для вирішення теоретичних і практичних завдань;
- пояснювати з математичної точки зору такі явища квантової механіки, як телепортація, заплутаність станів, квантова передача коду.

Що забезпечує наступні програмні результати навчання:

РН01. Відшуковувати необхідну інформацію в науковій і технічній літературі, базах даних, інших джерелах, аналізувати та оцінювати цю інформацію.

РН08. Розробляти моделі інформаційних процесів та систем різного класу, використовувати методи моделювання, формалізації, алгоритмізації та реалізації моделей з використанням сучасних комп'ютерних засобів.

РН11. Розв'язувати задачі цифрової трансформації у нових або невідомих середовищах на основі спеціалізованих концептуальних знань, що включають сучасні наукові здобутки у сфері інформаційних технологій, досліджень та інтеграції знань з різних галузей.

3. Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.
ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ

Тема 1. *Експериментальні основи квантової механіки.* Хвильова функція. Частинки і хвилі в класичній фізиці. Статистичний зміст хвильової функції. Принцип суперпозиції. Співвідношення невизначеності.

Тема 2. *Атом водню. Квантовий гармонічний осцилятор.* Рівняння Шрьодінгера. Рівняння Шрьодінгера для атому водню. Квантовий гармонічний осцилятор.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.
КВАНТОВІ РОЗРАХУНКИ

Тема 3. *Елементи квантової інформатики.* Класичні обчислювальні елементи і схеми (біти, регістри, логічні елементи). Квантові біти(кубіти). Однокубітні гейти (вентилі). Багатокубітні гейти. Переплутані стани.

Тема 4. *Квантові алгоритми та квантові комп'ютори*.. Алгоритм Дойча. Пошук у невпорядкованій базі даних. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора. Елементи квантової криптографії.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин									
	Очна форма					Заочна форма				
	Усього	у тому числі				Усього	у тому числі			
		л	п/с	лаб	ср		л	п/с	лаб	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ										
Тема 1. Експериментальні основи квантової механіки	**21**	2			19	**18**	2			16
Тема 2. Атом водню. Квантовий гармонічний осцилятор.	**21**	2			19	**16**				16
Разом за змістовим модулем 1	**42**	**4**			**38**	**34**	**2**			**32**
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. КВАНТОВІ РОЗРАХУНКИ										
Тема 3. Елементи квантової інформатики.	24	2	4		18	29	2	2		25

Тема 4. Квантові алгоритми та квантові комп'ютори.	24	2	4		18	27		2		25
Разом за змістовим модулем 2	**48**	**4**	**8**		**36**	**56**	**2**			**50**
Усього годин	**90**	**8**	**8**		**74**	**90**	**4**	**4**		**82**

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені.

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин Денна/заочна
1	**Прості однокубітні та багатокубітні обчислення.** Навчитись реалізовувати у програмному коді прості однокубітні та багатокубітні квантові операції	4/2
2	**Квантові алгоритми** Реалізувати у програмному коді квантові алгоритми	4/2
	Разом	**8/4**

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми/питання для підготовки, завдання	Кількість Годин Денна/заочна
1	Експериментальні основи квантової механіки.	19/16
2	Атом водню. Квантовий гармонічний осцилятор.	19/16
3	Стани кубітів. Двовимірний гільбертів простір. Прямий добуток двомірних гільбертових просторів. Унітарні оператори.	9/10
4	Квантові гейти. Переплутані стани	9/15
5	Квантові алгоритми.	9/10
6	Квантові комп'ютори.	9/15
	Разом	**74/82**

9. Методи навчання

Підготовка студентів здійснюється на лекційних та практичних заняттях, але у значній мірі покладається на самостійне вивчення матеріалу студентами денної форми навчання протягом семестру.

Під час викладання дисципліни використовуються словесні та наочні методи навчання:

лекції, бесіда, пояснення, робота з літературними джерелами.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод, інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод, дослідницький; при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод (студент опановує літературу за вказаною темою, виконує індивідуальне розрахункове завдання та доповідь).

10. Методи контролю

Поточний та підсумковий контроль здійснюється в результаті виконання лабораторних робіт. Поточний контроль: опитування, виконання лабораторних робіт; тестові завдання. Форми оцінювання: усне опитування, перевірка лабораторної роботи, тестування.

11. Питання для підсумкового контролю

1. Фізичні і технологічні обмеження розвитку традиційної електроніки.
2. Основні проблеми на шляху до створення квантових комп’ютерів.
3. Будова атома
4. Частинки і хвилі в класичній фізиці.
5. Корпускулярно-хвильовий дуалізм властивостей речовини.
6. Хвильова функція і її властивості
7. Атом водню в квантовій механіці. Квантові числа
8. Відмінність кубіта від біта класичної інформації
9. Статистичний зміст хвильової функції. Принцип суперпозиції.
10. Співвідношення невизначеності.
11. Рівняння Шрьодінгера.
12. Опис стану квантової системи у Гільбертовому просторі станів.
13. Стани багатокубітної системи.
14. Основні постулати квантової механіки.
15. Вимірювання у квантовій механіці.
16. Одно- і багато кубітові квантові логічні елементи та їхнє матричне зображення.
17. Квантовий паралелізм.
18. Квантові алгоритми.
19. Квантовий паралелізм обчислень

20. Завдання, доступні для вирішення за допомогою квантових алгоритмів,
21. Основна складність створення квантових комп'ютерів
22. Протокол телепортації квантового стану.
23. Гармонічний осцилятор, як модель квантового комп’ютера.
24. Квантовий комп’ютер на оптичних фотонах.
25. Сучасний стан реалізації квантових комп’ютерів.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний та періодичний контроль				Сума балів
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		
Т1	Т2	Т3	Т4	100
0	5	15	10	
Контрольна робота за змістовим модулем 1 - 35		Контрольна робота за змістовим модулем 2 - 35		

ФОРМУВАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Види навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість завдань	Сумарна кількість балів
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАТИКИ			
Поточне опитування на лекції	5	1	0-5
Контрольна робота за змістовим модулем			0-35
Усього за змістовим модулем 1			**0-40**
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. КВАНТОВІ РОЗРАХУНКИ			
Виконання і захист практичних робіт	10	2	0-20
Поточне опитування на лекції	5	1	0-5
Контрольна робота за змістовим модулем			0-35
Усього за змістовим модулем2			**0-60**
Підсумкова сума балів			**100**

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	**A**	відмінно	зараховано
85-89	**B**	добре	
75-84	**C**		
70-74	**D**	задовільно	
60-69	**E**		
35-59	**FX**	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	**F**	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти:

Оцінка за національною шкалою та **відсоток від максимальної кількості балів**	Теоретична підготовка	Практична підготовка
	Здобувач освіти	
зараховано (90-100% від максимальної кількості балів)	у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей; глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань, використовуючи при цьому нормативну, обов'язкову та додаткову літературу; робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки; самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань. Здобувач здатен виділяти суттєві ознаки вивченого за допомогою операцій синтезу, аналізу, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, формувати висновки і узагальнення, вільно оперувати фактами та відомостями.	глибоко та всебічно розкриває сутність практичних/ розрахункових завдань, використовуючи при цьому нормативну, обов'язкову та додаткову літературу; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання й оцінити результати власної практичної діяльності; виконує творчі завдання та ініціює нові шляхи їх виконання; вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу; проявляє творчий підхід до

		виконання індивідуальних та колективних завдань при самостійній роботі.
зараховано (75-89% від максимальної кількості балів)	достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, використовуючи при цьому нормативну та обов'язкову літературу; при представленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, застосовує знання для розв'язання стандартних ситуацій; самостійно аналізує, узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки.	правильно вирішив більшість розрахункових /тестових завдань за зразком; має стійкі навички виконання завдання
зараховано (60-74% від максимальної кількості балів)	володіє навчальним матеріалом на репродуктивному рівні або відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків, знає основні поняття навчального матеріалу; має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків.	може використовувати знання в стандартних ситуаціях, має елементарні, нестійкі навички виконання завдання. Правильно вирішив половину розрахункових/тестових завдань. Здобувач має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків.
не зараховано (35-59% від максимальної кількості балів)	володіє навчальним матеріалом поверхово й фрагментарно (без аргументації та обґрунтування); безсистемно виокремлює випадкові ознаки вивченого; не вміє робити найпростіші операції аналізу і синтезу; робити узагальнення, висновки; під час відповіді допускаються суттєві помилки	недостатньо розкриває сутність практичних завдань, допускаючи при цьому суттєві неточності, правильно вирішив окремі розрахункові/тестові завдання за допомогою викладача, відсутні сформовані уміння та навички.
не - зараховано (0-34% від максимальної кількості балів)	не володіє навчальним матеріалом	виконує лише елементи завдання, потребує постійної допомоги викладача

13. Методичне забезпечення

Робоча програма навчальної дисципліни; силабус, мультимедійні презентації, конспект лекцій

14. Рекомендована література

Основна

1. Остапов С.Е., Добровольський Ю.Г. Квантова інформатика та квантові обчислення / С.Е.Остапов. Ю.Г. Добровольський - Чернівці: ЧНУ, 2021. - 99 с. https://archer.chnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2830/1/QuantumComputing.pdf
2. Крохмальський Т.Є. Вступ до квантових обчислень – Львів:ЛНУ, 2018. – 204с.
3. Бродин О. М. Теоретична фізика. Квантова механіка. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 233 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48871/1/Teoretychna_fizyka_Kvantova_mekhanika.pdf
4. Карлаш Г.Ю. Квантові інформаційні системи. – Київ: факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2018. – 77 с.

Додаткова

5. Nakahara M. Ohmi t. Quantum computing: from linear Algebra to physical realization. Boca Raton London, New York. 2008. 416 p
6. Stig Stenholm, Kalle-Antti Suominen. Quantum approach to informatics, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 238 p.
7. Peter Lambropoulos, David Petrosyan. Fundamentals of Quantum Optics and Quantum Information, Springer Berlin Heidelberg New York, 2007, p. 335
8. Janos A. Bergou, Mark Hillery. Introduction to the Theory of Quantum Information Processing, Springer Science + Business Media New York, 2013, p. 150
9. Xian Min-Jin et al. Experimental free-space quantum teleportation//Nature Photonics,2010. -V. 4. - PP. 376–381.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://nbuv.gov.ua/ - Сайт Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського;
2. http://www.dnpb.gov.ua/ - Сайт Державної науково-педагогічної бібліотеки України імені В.О. Сухомлинського;
3. http://onu.edu.ua/- Сайт бібліотеки ОНУ імені 1.1. Мечникова;
4. http://odnb.odessa.ua/ - Сайт Одеської національної наукової бібліотеки;