

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Кафедра штучного інтелекту та програмного забезпечення

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**  
Проректор  
з науково-педагогічної роботи  
Олександр ГОЛОВКО  
\_\_\_\_\_ 2022 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Квантові комп'ютери**

рівень вищої освіти	<u>перший (бакалаврський) рівень</u>
галузь знань	<u>12 Інформаційні технології</u>
напрямок	<u>122 Комп'ютерні науки</u>
освітня програма	<u>Комп'ютерні науки</u>
спеціалізація	<u>_____</u>
вид дисципліни	<u>за вибором</u>
факультет	<u>комп'ютерних наук</u>

2022 / 2023 навчальний рік

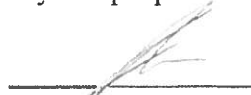
Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук  
«29» серпня 2022 року, протокол № 14

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:**

доктор фізико-математичних наук, професор кафедри штучного інтелекту та програмного  
забезпечення **Яновський Володимир Володимирович**

Програму схвалено на засіданні кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення  
Протокол від «29» серпня 2022 року № 1

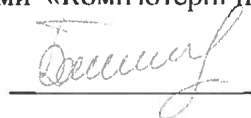
Завідувач кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення



Володимир КУКЛІШ

Програму погоджено з гарантом освітньої програми «Комп'ютерні науки»

Гарант освітньої програми «Комп'ютерні науки»

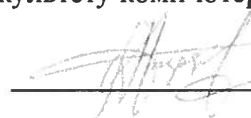


Сергій БОГУЧАРСЬКИЙ

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від «29» серпня 2022 року № 1

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Анатолій БЕРДНІКОВ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Квантові комп'ютери» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою вивчення курсу «Квантові комп'ютери» є підготовка кваліфікованих фахівців у галузі інформаційних технологій та виховання у студентів комп'ютерної освіченості з найсучасніших досягнень у сфері квантових обчислень

Для досягнення мети виконуються завдання з теоретичних і практичних питань, під час лекцій викладаються теоретичні основи дисципліни: основні поняття та визначення, теореми та алгоритми обчислювальних методів, а також наводяться приклади їх застосування для розв'язання певних класів задач.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- ознайомлення з різноманітними напрямками та методологією дослідження обчислень як класичних так і квантових;
- навчання майбутніх фахівців теорії та практиці застосування математичних методів для створення квантових алгоритмів.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні компетентності.

*Інтегральна компетентність:* Здатність розв'язувати складні задачі та вирішувати практичні завдання під час професійної діяльності в комп'ютерній галузі, що передбачає застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризуються комплексністю та невизначеністю умові вимог.

*Загальні компетентності (ЗК).*

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

*Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК)*

- СК02. Здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин - 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
8-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
32 год.	год.
Самостійна робота	
56 год.	год.
в т.ч. індивідуальні завдання	
40 год.	год.

#### 1.6. Заплановані результати навчання

##### знати:

- теоретичні основи квантової механіки;
- основні методи, що застосовуються при створенні квантових алгоритмів;
- області та особливості застосування квантових обчислень.

##### вміти:

- будувати математичні моделі квантових схем;
- проводити дослідження квантових алгоритмів;
- застосовувати методи квантових обчислень;
- аналізувати сучасні досягнення у цій галузі.

*В результаті вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні програмні результати навчання (ПРН).*

- ПР02. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.
- ПР13. Володіти мовами системного програмування та методами розробки програм, що взаємодіють з компонентами комп'ютерних систем, знати мережні технології, архітектури комп'ютерних мереж, мати практичні навички технології адміністрування комп'ютерних мереж та їх програмного забезпечення.
- ПР16. Розуміти концепцію інформаційної безпеки, принципи безпечного проектування програмного забезпечення, забезпечувати безпеку комп'ютерних мереж в умовах неповноти та невизначеності вихідних даних.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Елементи квантової фізики

*Тема 1. Головні принципи класичної фізики.*

*Тема 2. Елементи квантової механіки*

Викладаються головні принципи квантовою механіки у об'ємі необхідному до переходу і розумінню теорії квантових обчислень .

*Тема 3. Квант інформації  $q$ -біт.*

Поняття класичного біта або «атому» інформації повинно істотно модифікуватися у квантовому випадку. Варто обговорити розходження між класичним бітом і квантовим  $q$ -бітом. Головна відмінність полягає в тім, що класичний біт має тільки два стани, у той час як стани  $q$ -біта заповнюють гільбертово простір.

*Тема 4. Елементарні квантові операції.*

Перейдемо тепер до обговорення елементарних операцій, за допомогою яких виконуються квантові обчислення. Далі побачимо, що як і в класичному випадку, ці операції повинні застосовуватися до невеликої кількості  $q$ -бітів. Почнемо з операцій, застосовуваних до одного  $q$ -біту. Інакше кажучи, побудуємо квантовий гейт на одному  $q$ -біті.

*Тема 5. Універсальні квантові схеми.*

Нагадаємо, що повний базис для класичних обчислень був кінцевим й складався, наприклад, з гейтів NOT, AND, OR. Як виглядає справа у квантових схемах? Ясно, що якщо навіть одне  $q$ -бітних гейтов нескінченна кількість, то не доводиться сподіватись на кінцеву кількість повного базису квантових гейтов.

*Тема 6. Паралельність квантових обчислень.*

На лекції обговоримо, що за один прогін квантової схеми отримані всі значення функції. Це і є природна властивість паралельності квантових обчислень. Крім цього, можна помітити, що стан на виході схеми є переплутаний стан вхідних і вихідних станів  $q$ -бітів.

*Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями*

*Тема 7. Неможливість клонування квантового стану.*

У класичних обчисленнях операція копіювання або класичний ксерокс звичайна операція. Зовсім інакше виглядає її квантовий варіант. Виявляється що невідомий квантовий стан неможливий скопіювати або клонувати. Виражаючись образно, неможливо клонувати незнайомої людини. У цьому, зокрема, проявляється одне з важливих розходжень класичних і квантових обчислень. Доведемо теорему про неможливість клонування.

*Тема 8. Щільне кодування.*

Припустимо, що ми хочемо передати з пункту А у пункт В двох бітне повідомлення. Це означає, що потрібно передати одне із чотирьох повідомлень 00, 01, 10 або 11. Зрозуміло, поміщаючи таке повідомлення в 2  $q$ -бітний безпосередньо передаючи їх з пункту А у пункт В, це бажання легко здійснити. У класичному випадку ніякої іншої можливості й немає. Зовсім інакше справа у випадку квантової інформації. Тут можна спробувати використовувати сховані ресурси белловських станів.

Тема 9. Квантовий алгоритм пошуку.

Чи існує алгоритм пошуку, що дозволяє знайти потрібний елемент за менше кількість спроб чим класичний алгоритм? Виявилось, що такий алгоритм існує. Саме такий, але вже квантовий алгоритм пошуку був запропонований Гровером. Важливість існування такого алгоритму в тім, що він демонструє переваги квантових обчислень над класичними.

Тема 10. Квантовий алгоритм Шора.

Цей квантовий алгоритм факторизації числа значно перевершує всі відомі класичні алгоритми. Цей алгоритм веде до експоненційної економії ресурсів обчислення.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
1	о	л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Елементи квантової фізики</b>						
Тема 1. Головні принципи класичної фізики.	8	2		2		4
Тема 2. Елементи квантової механіки	8	2		2		4
Тема 3. Квант інформації $q$ -біт.	14	4		4		6
Тема 4. Елементарні квантові операції.	14	4		4		6
Тема 5. Універсальні квантові схеми.	10	2		2		6
Тема 6. Паралельність квантових обчислень.	10	2		2		6
Разом за розділом 1	64	16		16		32
<b>Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями</b>						
Тема 7. Неможливість планування квантового стану.	14	4		4		6
Тема 8. Щільне кодування.	14	4		4		6
Тема 9. Квантовий алгоритм пошуку.	14	4		4		6
Тема 10. Квантовий алгоритм Шора.	14	4		4		6
Разом за розділом 2	56	16		16		24
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>32</b>		<b>32</b>		<b>56</b>

### 4. Теми практичних (лабораторних) занять

з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Розділ 1. Елементи квантової фізики</b>		
1	Уявні експерименти Галілея	4
2	Квантова будова атома водороду	4
3	Ефект Комптона	4
4	Однокубітні квантові гейти	4
<b>Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями</b>		
5	Побудова прикладів квантових схем	4
6	Математичні основи алгоритму факторизації числа.	4
7	Квантова телепортація інформації	4
8	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
<b>Розділ 1. Елементи квантової фізики</b>		
1	Принцип невизначеності Гейзенберга, встановити які наслідки його використання до природних явищ.	8
2	Переплутані стани квантових систем, запропонувати приклад таких станів.	6
3	Головні уявлення про спин квантових частинок і пояснити відсутність класичних аналогів.	6
4	Квантова теорія вимірювань, пояснити її принципові відмінності від класичних вимірювань	6
5	Нерівність Белла та парадокс ЕПР, значення для квантової теорії.	6
<b>Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями</b>		
6	Квантова однокубітна телепортація, чому це можливо?	3
7	Квантова телепортація переплутаності, пояснити можливість такого явища.	3
8	Квантова криптографія, які переваги та недоліки.	6
9	Квантові ключі та їх передача	6
10	Квантові коди що виправляють помилки	6
	<b>Разом</b>	<b>56</b>

## 6. Індивідуальні завдання

2 контрольні роботи

## 7. Методи навчання

На досягнення освітніх цілей спрямовані такі методи навчання студентів:

– практичні (використовують для пізнання дійсності, формування навичок і вмінь, поглиблення знань. Під час їх застосування використовуються такі прийоми: планування виконання завдання, постановка завдання, оперативне стимулювання, контроль і регулювання, аналіз результатів, визначення причин недоліків);

– пояснювальне-ілюстративний (використовують для викладання й засвоєння нового навчального матеріалу, фактів, підходів, оцінок, висновків тощо);

– репродуктивний (для застосування студентами вивченого на основі зразка або правила, алгоритму, що відповідає інструкціям, правилам, в аналогічних до представленого зразка ситуаціях);

Як правило лекційні та практичні заняття проводяться аудиторне. В умовах дії карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторне або дистанційно за допомогою платформ Google Meet або Zoom).

## 8. Методи контролю

На протязі усього терміну викладання означеної дисципліни проводиться поточний контроль засвоєння лекційного матеріалу (контроль знань) та контроль здобуття практичних навичок (контроль вмінь). Підсумковий семестровий контроль також дозволяє контролювати як одержані знання так і набуті вміння:

- після закінчення викладання кожного розділу курсу контроль знань проводиться у вигляді тестування по матеріалам розділу.
- контролюється виконання самостійних лабораторних робіт у відведений термін виконання кожної роботи.

### 9. Схема нарахування балів

Розподіл балів для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену.

#### Критерії оцінювання

№	Форми навчальної діяльності	Кількість балів	Термін
1	Відвідування лекцій	10	постійно
2	Відвідування практичних занять	10	постійно
3	Контрольна робота № 1	20	
4	Контрольна робота № 2	20	
5	Підсумковий контроль (екзаменаційна робота)	40	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>100</b>	

#### *Відвідування лекцій:*

- 10 балів: студент відвідав 90-100 % лекційних занять;
- 9 балів: студент відвідав 80-89 % лекційних занять;
- 8 балів: студент відвідав 70-79 % лекційних занять;
- 7 балів студент відвідав 60-69 % лекційних занять;
- 6 балів: студент відвідав 50-59 % лекційних занять;
- 5 балів: студент відвідав 40-49 % лекційних занять;
- 4 бали: студент відвідав 30-39 % лекційних занять;
- 3 бали: студент відвідав 20-29 % лекційних занять;
- 2 бали: студент відвідав 10-19 % лекційних занять;
- 1 бал: студент відвідав 1-9 % лекційних занять;
- 0 балів: студент не відвідував лекційні заняття.

#### *Відвідування практичних занять:*

- 10 балів: студент відвідав 90-100 % лекційних занять;
- 9 балів: студент відвідав 80-89 % лекційних занять
- 8 балів: студент відвідав 70-79 % лекційних занять 1
- 7 балів студент відвідав 60-69 % лекційних занять
- 6 балів: студент відвідав 50-59 % лекційних занять
- 5 балів: студент відвідав 40-49 % лекційних занять
- 4 бали: студент відвідав 30-39 % лекційних занять
- 3 бали: студент відвідав 20-29 % лекційних занять
- 2 бали: студент відвідав 10-19 % лекційних занять
- 1 бал: студент відвідав 1-9 % лекційних занять
- 0 балів: студент не відвідував лекційні заняття

#### *Контрольна робота:*

Два питання кожне має максимальну оцінку 10.

- 9-10 - розгорнута відповідь, виявлено ґрунтовне розуміння предмету;
- 7-8 - досить змістовна відповідь, виявлено розуміння предмету;
- 5-6 - певна відповідь, виявлено певне розуміння предмету;



- 3-4 - недостатньо обґрунтована відповідь, виявлено недостатнє розуміння предмету;  
 1-2 - спроба обґрунтованої відповіді;  
 0 - робота відсутня.

### ***Критерії оцінювання знань студентів під час підсумкового контролю***

Підсумкова робота складається з відповіді на 4 питання, оцінка яких співпадає з оцінювання контрольних робіт.

### **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. І. О. Вакарчук., Квантова механіка, Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2012, 872 с.
2. О.С. Давидов, Квантова механіка, Київ, ВД “Академперіодика” 2012, 708с.
3. P.A.M.Dirac, The principles of quantum mechanics, Oxford., At the clarendon press, 1958, 257p.
4. Dirk Bouwmeester, Artur K. Ekert , Anton Zeilinger, The Physics of Quantum Information Quantum Cryptography, Quantum Teleportation, Quantum Computation, Springer; 2000th edition, 2000, 314p.
5. Nielsen, Michael A.; Chuang, Isaac L. , Quantum Computation and Quantum Information (10th anniversary ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2012, 702p.
6. John Watrous, The Theory of Quantum Information, Publisher: Cambridge University Press 2018.
7. Noson S. Yanofsky , Mirco A. Mannucci, Quantum Computing for Computer Scientists, Cambridge University Press, 2008, 402p.

### **Допоміжна література**

1. John Gribbin, Computing with Quantum Cats: From Colossus to Qubits Hardcover, Prometheus, 2014, 320p.
2. В.П.Семиноженко, В.В. Яновський, Перед обличчям Всесвіту, НТК “Інститут монокристалів” НАН України, Харків, Юнісофт, 2021, 223с.
3. Scott Aaronson, Quantum Computing Since Democritus, Cambridge University Press, 2013, 398p.