

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор
з науково-педагогічної роботи

А.В. Пантелеймонов

_____ 2019 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Квантові комп'ютери

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

2019 / 2020 навчальний рік

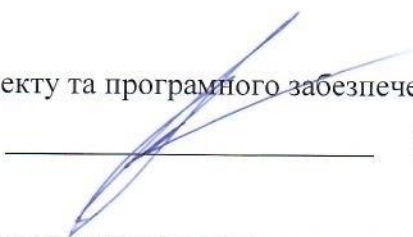
Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук
«27» червня 2019 року, протокол № 2

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» травня 2019 року № 11

Завідувач кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення


_____ (Куклін В.М.)

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук
Протокол від «20» червня 2019 року № 9

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук


_____ (Бердніков А.Г.)

ВСТУП

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

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.

1.3. Кількість кредитів – 8.

1.4. Загальна кількість годин - 240.

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	
24 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
24 год.	год.
Самостійна робота	
192 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.

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 одному 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					
	усьог о	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Елементи квантової фізики						
Тема 1. Головні принципи класичної фізики.	17	2		2		13
Тема 2. Елементи квантової механіки	21	2		2		17
Тема 3. Квант інформації q -біт.	23	2		2		19
Тема 4. Елементарні квантові операції.	25	2		2		21
Тема 5. Універсальні квантові схеми.	25	2		2		21
Тема 6. Паралельність квантових обчислень.	21	2		2		17
Разом за розділом 1	132	12		12		108
Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями						
Тема 7. Неможливість планування квантового стану.	27	2		4		21
Тема 8. Щільне кодування.	25	2		2		21
Тема 9. Квантовий алгоритм пошуку.	27	4		2		21
Тема 10. Квантовий алгоритм Шора.	29	4		4		21
Разом за розділом 2	108	12		12		84
Усього годин	240	24		24		192

4. Теми практичних (лабораторних) занять

з/п	Назва теми	Кількість годин
Розділ 1. Елементи квантової фізики		
1	Уявні експерименти Галілея	2
2	Квантова будова атома водороду	2
3	Ефект Комптона	4
4	Однокубітні квантові гейти	4
Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями		
5	Побудова прикладів квантових схем	6
6	Математичні основи алгоритму факторізації числа.	2
7	Квантова телепортація інформації	4
8	Разом	24

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
Розділ 1. Елементи квантової фізики		
1	Принцип невизначеності Гейзенберга, встановити які наслідки його використання до природних явищ.	13
2	Переплутані стани квантових систем, запропонувати приклад таких станів.	29
3	Головні уявлення про спин квантових частинок і пояснити відсутність класичних аналогів.	19
4	Квантова теорія вимірювань, пояснити її принципові відмінності від класичних вимірювань	19
5	Нерівність Белла та парадокс ЕПР, значення для квантової теорії.	19
Розділ 2. Основа квантових обчислень, їх головні властивості і переваги над класичними обчисленнями		
6	Квантова однокубітна телепортація, чому це можливо?	15
7	Квантова телепортація переплутаності, пояснити можливість такого явища.	15
8	Квантова криптографія, які переваги та недоліки.	25
9	Квантові ключі та їх передача	19
10	Квантові коди що виправляють помилки	19
	Разом	192

6. Індивідуальні завдання

2 контрольні роботи

7. Методи контролю

На протязі усього терміну викладання означеної дисципліни проводиться поточний контроль засвоєння лекційного матеріалу (контроль знань) та контроль здобуття практичних навиків (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 розділа.

- контролюється виконання самостійних лабораторних робіт у відведений термін виконання кожної роботи.

8. Схема нарахування балів

Розподіл балів для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену.

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання										Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом	Екзамен	Сума
Розділ 1					Розділ 2									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10					
20										40		60	40	100

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

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	
	ВСЬОГО	100	

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.

9. Рекомендована література

Основна література

1. В.В.Яновский, Квантовая механика алгоритмов, Харьков, Институт монокристаллов, 2009, 269с.
2. Дж.Макки, Лекции по математическим основам квантовой механики, М.,Мир, 1965,222с.
3. П.А.М.Дирак, К основанию квантовой теории поля, М., Наука, 1990, 368с.
4. Д.Бауместер, А.Зкерт, А.Цайлингер, Физика квантовой информации, М., Постмаркет, 2002, 376с.
5. С.Я.Килин, Квантовая информация, УФН, т.169, 5, с.507-527, 1999.
6. К.А.Валиев, А.А.Кокин, Квантовые компьютеры: Надежды и реальность, Ижевск, РХД, 2001, 352с.
7. Китаев, А. Шень, М. Вялый. КЛАССИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, М., МЦНМО, 1999, 192с.

Допоміжна література

1. Г.Паун, Г.Розенберг, А.Саломая, ДНК-компьютер. Новая парадигма вычислений, М., Мир, 2003, 528с..
2. Н.К.Верешагин, А.Шень, Лекции по математической логике й теории алгоритмов. Вычислимые функции, М., МЦНМО, 1999, 176с.
3. А.С.Холево, Введение в квантовую теорию информации, М., МЦНМО, 2008, 128с.