Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук
_____Петро, ШПАТАР
"31" березня 2026 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

ОК5 Квантовий комп'ютинг
(назва навчальної дисципліни)

обов'язкова
(вказати: обов'язкова / вибіркова)

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія
(назва програми)

Спеціальність F7 Комп'ютерна інженерія
(вказати: код, назва)

Галузь знань F Інформаційні технології
(вказати: шифр, назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(вказати: перший бакалаврський/другий магістерський)

фізико-технічних та комп'ютерних наук
(назва факультету/ навчально-наукового інституту,
на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання українська

Чернівці 2026 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Квантовий комп'ютинг» складена відповідно до освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія».

Розробник: Дейбук Віталій Григорович, професор кафедри КСМ, докт. фіз.- мат. наук, професор
(П.І.Б. авторів, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Викладач (чі), що забезпечує читання даної навчальної дисципліни:
Дейбук Віталій Григорович, професор кафедри КСМ, докт. фіз.- мат. наук, професор; Кирилюк Тарас Петрович, асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж, доктор філософії з програмної інженерії
(П.І.Б. викладача (ів), посада, науковий ступінь, вчене звання)

Погоджено з гарантом ОП _____ **Сергій БАЛОВСЯК**
(підпис)

Затверджено на засіданні кафедри *комп'ютерних систем та мереж*

Протокол № 2 від "31" серпня 2026 року

Завідувач кафедри _____ **Георгій ВОРОБЕЦЬ**
(підпис)

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1/2 від "31" серпня 2026 року

Голова методичної ради навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

_____ **Іван КОЗЯРСЬКИЙ**
(підпис)

1. Мета навчальної дисципліни

Мета: формування необхідного рівня теоретичної і практичної підготовки студентів для грамотного використання ними знань про принципи організації квантових обчислень, що є важливим у майбутній професійній діяльності; для досягнення мети студентам надаються систематизовані знання про принципи побудови та функціонування квантових комп'ютерів, концептуальні основи квантових обчислень та можливості використання квантових алгоритмів для розв'язання задач неполіномної складності.

Пререквізити

Для коректного розуміння та засвоєння матеріалів цієї дисципліни здобувачі освіти повинні попередньо опанувати такі курси: фізика, вища математика, комп'ютерна дискретна математика, числові методи комп'ютерної інженерії, комп'ютерна схемотехніка.

2. Результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент отримує компетентності, у результаті чого повинен

2.1. Знати: основні методи представлення квантової інформації, логічний апарат квантових обчислень; можливості квантових обчислень; основні квантові алгоритми; основні вимоги до квантових комп'ютерів; принципи функціонування квантових мереж.

2.2. Вміти: аналізувати і застосовувати логічний апарат квантових обчислень; моделювати основні квантові комбінаційні схеми на логічному рівні; аналізувати основні алгоритми квантової інформатики. вирішувати оптимізаційні задачі за допомогою квантових алгоритмів.

2.3. Набути компетентностей:

ЗК - загальних

ЗК1. Здатність до адаптації та дій в новій ситуації.
ЗК2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

СК – фахових (спеціальних)

СК2. Здатність розробляти алгоритмічне та програмне забезпечення, компоненти квантових комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем з використанням сучасних методів і спеціалізованих мов програмування, а також засобів і систем автоматизації проектування квантових пристроїв.

СК4. Здатність будувати та досліджувати моделі квантових комп'ютерних систем та мереж.

СК5. Здатність будувати архітектуру та створювати системне і прикладне програмне забезпечення квантових комп'ютерних систем та мереж.

СК6. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

РН - програмних результатів навчання

РН2. Знаходити необхідні дані, аналізувати та оцінювати їх.

РН3. Будувати та досліджувати моделі квантових комп'ютерних систем і мереж, оцінювати їх адекватність, визначати межі застосовності.

РН4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері квантової комп'ютерної інженерії, необхідні для професійної діяльності, оригінального мислення та проведення досліджень, критичного осмислення проблем інформаційних технологій та на межі галузей знань.

РН7. Вирішувати задачі аналізу та синтезу комп'ютерних систем та мереж.

3. Опис навчальної дисципліни
3.1. Загальна інформація

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	всього годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	1(5)	1(9)	3	90	14	-	-	16	60	-	Залік
Заочна	1(5)	1(9)	3	90	4	-	-	4	82	-	Залік

3.2. Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Теми лекційних занять	**Змістовий модуль 1**.											
Тема 1. Вступ. Квантові системи зі спіном, фотони Вимірювання.	5	1	-	0	-	3	5	1	-	-	-	4
Тема 2. Лінійна алгебра. Ортонормований базис. Інструменти лінійної алгебри.	10	2	-	0	-	8	10	-	-	-	-	10
Тема 3. Спін і кубіти. Протокол BB84.	10	2	-	2	-	6	10	-	-	1	-	9
Тема 4. Заплутаність квантових станів. Вентиль CNOT	10	2	-	2	-	6	10	1	-	1	-	8
Тема 5. Нерівність Белла. Протокол Екерта для квантових розподілених ключів	10	2	-	2	-	5	10	-	-	-	-	10
Тема 6.Класична логіка. Вентилі і кола. Зворотні обчислення.	5	1	-	0		4	5	-		-		5
Тема 7.Квантові вентилі і кола. Теорема про заборону клонування. Квантова телепортація.	20	2	-	4		14	20	1		1		18
Тема 8. Квантові алгоритми (Дойча, Дойча-Джози, Шора)	20	2	-	4		14	20	1		1		18
Усього годин	90	14	-	16	-	60	90	4		4	-	82

Тематика лекційних занять

№	Назва теми (завдання)	К-сть годин
1	Вступ. Квантові системи зі спіном, фотони Вимірювання.	2
2	Лінійна алгебра. Ортонормований базис. Інструменти лінійної алгебри.	2
3	Спін і кубіти. Протокол BB84	2
4	Заплутаність квантових станів. Вентиль CNOT	2
5	Нерівність Белла. Протокол Екерта для квантових розподілених ключів	2
6	Квантові вентилі і кола. Теорема про заборону клонування. Квантова телепортація	2
7	Квантові алгоритми (Дойча, Дойча-Джози, Шора)	2
	Разом	**14**

Тематика лабораторних занять

№	Назва теми (завдання)	Кількість годин
1	Основи роботи у системі IBM Quantum Composer	2
2	Однокубітні гейти в системі *IB*M Quantum Composer	2
3	Контрольовані ґейти в системі *IB*M Quantum Composer	4
4	Квантові алгоритми квантової телепортації, Дойча, Дойча-Джоза	4
5	Квантові алгоритми Шора, Гровера, модулярна арифметика	4
	Разом	**16**

Самостийна робота студента

№	Назва теми	Кількість годин
1	Вимірювання і ймовірність. Фотони та поляризація	3
2	Впорядковані базиси. Ортогональні й унітарні матриці	8
3	Математична модель поляризації фотона.	6
4	Заплутані квантові годинники	6
5	Заплутані кубіти в різних базисах. ЕПР парадокс	5
6	Квантові вентилі Тоффолі та Фредкіна	4
7	Квантовий алгоритм Шора	14

8	Кронекерівський добуток матриць Адамара.	14
	Разом	**60**

4. Форми і методи навчання

Основними формами організації навчання є лекційні та лабораторні заняття, а також самостійна робота здобувачів вищої освіти. Самостійна робота, пов'язана з опрацюванням матеріалів лекцій та літературних джерел за відповідною тематикою, супроводжується формуванням напрацювань для подання та обґрунтування отриманих результатів виконання лабораторних завдань, підготовкою до контрольних робіт та тестів. Також під час проведення занять студенти залучені до виконання робіт на реальному квантовому комп'ютері фірми IBM та у симуляторі, беруть участь у обговореннях у малих групах, проєктному навчанні. У окремих випадках під час проведення занять використовуються мультимедійні засоби Google Meet і освітні платформи Moodle та netacad.com.

У межах дисципліни передбачено можливість використання результатів навчання, здобутих студентами під час проходження професійно-орієнтованих онлайн-курсів. Результати навчання, отримані поза межами формальної освітньої програми, можуть бути визнані відповідно до встановленого в університеті порядку за умови підтвердження їх успішного здобуття та відповідності програмним результатам навчання дисципліни.

Методи навчання: використовуються студентоцентрований, проблемно-орієнтований, практичний, симуляційний, комунікативний, професійно-орієнований, підходи. Нижче наведено методи навчання, застосовані під час викладання навчальної дисципліни. Крім цього використовуються наступні методи навчання:

Пояснювально-ілюстративний метод. Передбачає систематизоване подання теоретичного матеріалу з використанням схем, топологій, демонстрацій, прикладів конфігурацій та мультимедійних засобів, що дає змогу студентам спостерігати послідовність виконання інженерних операцій перед їх самостійною реалізацією.

Метод моделювання та симуляції стосується створення та дослідження віртуальних квантових мережних топологій із використанням спеціалізованих симуляторів і лабораторних середовищ.

Метод аналізу конкретних ситуацій (Case Study) дає змогу дослідити практичні сценарії, пов'язані з побудовою та експлуатацією квантових мереж. Студенти аналізують вимоги, можливі проблеми або загрози безпеці та розробляють відповідні інженерні рішення.

Робота в малих групах передбачає спільне виконання лабораторних завдань із розподілом ролей між учасниками. Застосовується для моделювання роботи команди під час проєктування, налаштування та діагностування квантових пристроїв.

5. Система контролю та оцінювання

Формами поточного контролю: усні відповіді студентів; обгрунтування реалізованих рішень, подання та аргументований захист результатів розв'язку практичних завдань у рамках колективного обговорення; виконання завдань проміжних та підсумкових контрольних робіт; результати складання тестів.

Підсумковий контроль –залік.

6. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС (Європейська кредитна трансферно-накопичувальна система, ECTS)

Оцінка за шкалою ЄКТС	Критерії	Пояснення	Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою (залік)
A	Відмінний рівень компетентностей у межах обов'язкового матеріалу, з можливими незначними недоліками	Зараховано	**90 – 100**	**Зараховано**
B	Достатньо високий рівень компетентностей у межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок		**80-89**	
C	В цілому добрий рівень компетентностей із незначною кількістю помилок		**70-79**	
D	Посередній рівень компетентностей із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або професійної діяльності		**60-69**	
E	Мінімально можливий допустимий рівень компетентностей		**50-59**	
FX	Незадовільний рівень компетентностей, з можливістю повторного перескладання за умови належного самостійного доопрацювання	Не зараховано з можливістю повторного складання	**35-49**	**Не зараховано**
F	Дуже поганий рівень компетентностей, що вимагає повторного вивчення дисципліни	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	**1-34**	

6. Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є:

- стандартизовані тести;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- завдання на лабораторному обладнанні.

Форми поточного та підсумкового контролю

Формами поточного контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при захисті виконаних лабораторних робіт, кількість отриманих балів при виконанні тестового завдання.

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)					**Підсумковий контроль (залік)**	**Сумарна кількість балів**
Змістовий модуль 1						
Л1	Л2	Л3	Л4	Л5		
10	10	10	10	10	50	100

Л1, Л2, …- лабораторні роботи

Формами підсумкового контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при здачі заліку у формі тесту.

7. Перелік питань для самоконтролю та підсумкового контролю навчальних досягнень здобувачів освіти

1. Які основні відмінності між класичними бітами та квантовими бітами?
2. Що представляють собою інструменти IBM Quantum Composer та IBM Quantum Lab та як вони відрізняються один від одного?
3. Які квантові гейти доступні у IBM Quantum Composer та як їх використовувати для створення квантових алгоритмів?
4. Що таке квантовий регістр та класичний регістр у контексті IBM Quantum Composer?
5. Що означає QASM у квантових обчисленнях та як його використовувати?
6. Які класи обчислювальної складності Ви знаєте?
7. Що пояснили досліди Штерна-Герлаха?
8. Наведіть приклади дворівневих систем, придатних для фізичної реалізації кубітів.
9. Умова ортогональності векторів
10. Добуток бра-кет і ортогональність
11. Ортонормований базисОртогональні й унітарні матриці
12. Алгоритм перевірки ортонормованості базису

13. Алгоритм представлення заданого кет-вектора в ортонормованому базисі
14. Алгоритм знаходження довжини кет-вектора в заданому базисі
15. Математична модель квантового спіна та фотона
16. Аліса, Боб, Єва і протокол BB84
17. Умова заплутаності(незаплутаності) кубітів
18. Заплутування кубітів з допомогою вентиля CNOT
19. Класичне пояснення заплутаності
20. Нерівність БеллаПротокол Екерта для квантового розподілу ключів
21. Квантовий вентиль Кероване НЕ
22. Квантові однокубітові вентилі (X,Y.Z)
23. Вентиль Адамара
24. Теорема про заборону клонування
25. Коло Белла
26. Надщільне кодування
27. Квантова телепортація
28. Алгоритм Дойча
29. Кронекерів добуток матриць Адамара
30. Алгоритм Дойча-Джози
31. Алгоритм Саймона
32. Алгоритм Шора і крипто аналіз
33. Квантове перетворення Фур'є
34. Алгоритм Гровера і пошук даних
35. Яке перетворення лежить в основі алгоритму Шора?
36. Вкажіть вираз дискретного перетворення Фур'є кубіта
37. Яке співвідношення дозволяє визначити період функції в алгоритмі Шора?
38. Який алгоритм призначений для факторизації цілих чисел?
39. Який вираз відповідає однокубітовому оператору A(j)?
40. Як діє оператор A(j) на стани |0> і |1> ?
41. Який вираз відповідає двокубітовому оператору B(j)?
42. Як діє оператор B(j) на стани |0>,|1>,|2>,|3> ?
43. Яка кількість теплоти виділяється при стиранні одного біта інформації?
44. Яка функція є зворотною?
45. Яку проблему дозволяє вирішити використання зворотної логіки?
46. Які зворотні логічні елементи Ви знаєте?
47. Яка умова виконується при збереженні парності логічного елемента?
48. Яку функцію виконує вентиль Фредкіна?
49. Яку функцію виконує вентиль Фейнмана?
50. Яку функцію виконує вентиль Тоффолі?
51. Який зі зворотних логічних елементів є універсальним і зберігає парність?

8. Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол No16 від 25 листопада 2024 року) (https://www.chnu.edu.ua/universytet/normatyvni-dokumenty/poriadok-vyznannia-u-chernivetskomu-natsionalnomu-universyteti-imeni-yuriia-fedkovycha-rezultativ-navchannia-zdobutykh-shliakhom-neformalnoi-taabo-informalnoi-osvity/) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти, які відповідають тематиці дисципліни.

9. Рекомендована література

Фахова (основна)

1. Nielsen, M. A., and Chuang, I. L. (2020). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. IBM QX backend information (2025). Available at https://github.com/QISKit/ibmqx-backend-information
3. Bernhardt C. Quantum computing for everyone . - Cambridge, MA: The MIT Press, 2024. – 194 p.
4. Berman G.P., et al. Introduction to quantum computers. – WSP: London, 2024. - 188 p.
5. N. Abdessaied and R. Drechsler, Reversible and Quantum Circuits, Springer Cham, 2018. - 243 p.
6. Крохмальський Т. Квантові комп'ютери: основи й алгоритми // Журнал фізичних досліджень. - 2004. - т. 8, №1. – С. 1-15.
7. Benetti G., Casati G., Strini G. Principles of Quantum Computation and Information, V.1. Basic Concepts. – Singapore:World Scientific, 2025. – 256p.
8. Дейбук В.Г., Кирилюк Т.П. Лабораторний прктикум з Квантового компютингу - Чернівці, Рута. 2027.

Додаткова

1. D. McMahon. Quantum computing explained./ D. McMahon – Wiley-Interscience, 2018. – 332p.
2. A. De Vos. Reversible Computing: Fundamentals, Quantum Computing, and Applications. Wiley-VCH, 2019.
3. Z. Hu, **V. Deibuk**. Design of ternary reversible/quantum sequential elements. *Journal of Thermoelectricity,* 2018(1), 5-17.
4. O. Rozhdov, I. Yuriychuk, V. **Deibuk**. Building a generalized peres gate with multiple control signals. *Advances in Intelligent Systems and Computing* vol 754, 2020, 155-164
5. D. M. Miller, M. A. Thornton, "Multiple Valued Logic: Concepts and Representations". Morgan & Claypool Publishers, 2018.
6. R. S. Zebulum, M. C. Pachecco, M. M. Vellasco, "Evolutionary Electronics: Automatic Design of Electronic Circuits and Systems by Genetic Algorithms". CRC Press, 2020.
9. L. Spector, "Automatic Quantum Computer Programming: A Genetic Programming Approach". Kluwer Academic Publishers, 2019.

10. Інформаційні ресурси

1. https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3243
2. https://github.com/QISKit/ibmqx-backend-information
3. https://www.ibm.com/quantum/systems
4. https://quantumai.google/

11. Політика академічної доброчесності

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні освітнього компонента регламентовано чинними документами ЧНУ:

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»https://www.chnu.edu.ua/universytet/normatyvni-dokumenty/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu-imeni-yuriia-fedkovycha/
- «Положенням про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича» https://www.chnu.edu.ua/universytet/normatyvni-dokumenty/polozhennia-pro-vyiavlennia-ta-zapobihannia-akademichnomu-plahiatu-u-chernivetskomu-natsionalnomu-universyteti-imeni-yuriia-fedkovycha/
- «Політика використання штучного інтелекту в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича»https://www.chnu.edu.ua/universytet/normatyvni-dokumenty/polityka-vykorystannia-shtuchnoho-intelektu-v-chernivetskomu-natsionalnomu-universyteti-imeni-yuriia-fedkovycha/

Використання здобувачами освіти інструментів штучного інтелекту (ШІ) під час виконання навчальних завдань:

- допускається за умови дотримання принципів академічної доброчесності (здобувач освіти несе відповідальність за зміст, достовірність і результати поданої роботи, а у разі використання ШІ зобов'язаний зазначити факт і спосіб його застосування);
- не допускається використання ШІ як заміни самостійного виконання завдань або з метою порушення вимог академічної доброчесності;
- додаткові обмеження чи вимоги щодо використання ШІ можуть визначатися викладачем в освітньому процесі для конкретних видів навчальної діяльності відповідно до особливостей дисципліни.