

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

(повне найменування закладу вищої освіти)

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

(назва інституту/факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(назва кафедри)

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Основи квантового комп'ютингу

(вказіть назву навчальної дисципліни (іноземною, якщо дисципліна викладається іноземною мовою))

обов'язкова

(обов'язкова чи вибіркова)

Освітньо-професійна програма – “Комп'ютерна інженерія”

Спеціальність 123– Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Галузь знань 12–Інформаційні технології

(шифр і назва галузі знань)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

(вказати: перший (бакалаврський)/другий (магістерський)/третій (освітньо-науковий))

Інститут фізико-технічних і комп'ютерних наук

(назва факультету / інституту, на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання – українська

(мова, на якій читається дисципліна)

Розробник: ***Дейбук Віталій Григорович***, професор кафедри КСМ,

доктор фіз.-мат. наук, професор

(вказати авторів (викладач (ів)), їхні посади, наукові ступені, вчені звання)

Профайл викладача (-ів) <https://csn.chnu.edu.ua/employees/dejbuk-vitalij-grygorovych/>

Контактний тел. + (38) 0372 50 94 32 (кафедра КСМ)

E-mail: v.deibuk@chnu.edu.ua

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3243>

Консультації *on-line: четвер з 15.00 до 16.00*

1. Анотація дисципліни

Курс «Основи квантового комп'ютингу» призначений для розширення компетентностей випускників спеціальності 123 - Комп'ютерна інженерія з можливістю використання квантових обчислень для наукових досліджень в подальшій практичній діяльності. Предметом навчальної дисципліни як об'єкту навчання є формування в студентів системи знань про призначення й зміст основних принципів квантових обчислень і алгоритмів, а також роботи квантових комп'ютерів.

1.1. Мета навчальної дисципліни:

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 неpolіномної складності.

1.2. Завдання –

формування у студентів умінь та навичок ставити задачі аналізу і синтезу квантових комп'ютерних мереж; знаходити найбільш ефективний квантовий алгоритм для розв'язку конкретної важкорозв'язної задачі в заданому базисі.

1.3. Пререквізити. Для коректного розуміння і засвоєння матеріалу даного курсу слухачі повинні попередньо засвоїти усі передбачені освітньою програмою дисципліни циклу професійної підготовки Результати навчання за цією дисципліною необхідні при виконанні магістерських проектів.

2. Результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент 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;
- аналізувати основні алгоритми квантової інформатики.
- вирішувати оптимізаційні задачі за допомогою квантових алгоритмів.
- моделювати основні квантові комбінаційні схеми на логічному рівні

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.

СК7. Здатність досліджувати, розробляти та обирати технології створення великих і надвеликих систем.

ПРН - 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	15	-	-	15	60	-	Залік
Заочна	1(5)	1(9)	3	90	4	-	-	4	82	-	Залік

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 0,50;
для заочної форми навчання – 0,10.

3.2. Дидактична карта 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	2	-	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	10	2	-	2	-	6	10	1	-	1	-	8	

станів. Вентиль CNOT												
Тема 5. Нерівність Белла. Протокол Екерта для квантових розподі- лених ключів	10	2	-	3	-	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, Саймона, Шора, Гровера)	20	2	-	4		14	20	1		1		18
Усього годин	90	15	-	15	-	60	90	4		4	-	82

3.2.1. Темі лабораторних занять

№	Назва теми
1	QCAD застосунок
2	Базові квантові гейти
3	Квантові арифметичні кола
4	Квантове перетворення Фур'є
5	Квантовий алгоритм Шора

Примітка. Методичні рекомендації та завдання до семінарських занять доступні на інтернет-ресурсах: <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3243>

3.2.2. Тематика індивідуальних завдань

В даному курсі виконання індивідуальних завдань не передбачено.*

* ІНДЗ – може бути рекомендовано в окремих випадках для студентів, які успішно освоїли основний навчальний матеріал, з метою поглибленого вивчення чи удосконалення матеріалів певного змістового модуля, або в цілому для навчальної дисципліни за рішенням кафедри чи викладача.

3.2.3. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми
1	Вимірювання і ймовірність. Фотони і поляризація
2	Впорядковані базиси. Ортогональні й унітарні матриці
3	Математична модель поляризації фотона.
4	Заплутані квантові годинники
5	Заплутані кубіти в різних базисах. ЕПР парадокс
6	Вентилі Гоффолі і Фредкіна
7	Коло Белла. Надщільне кодування

3.3. Форми і методи навчання

Форми навчання—це проблемні лекції, лабораторні заняття, заняття із застосуванням комп'ютерної та телекомунікаційної техніки, інтерактивні заняття з навчанням одних студентів іншими, інтегровані заняття, проблемні заняття, відеолекції, відеозаняття і відеоконференції засобами GoogleMeet, Zoom, CiscoWebex, заняття з використанням системи електронного навчання Moodle.

Методи: проблемний виклад матеріалу, частково-пошукові та дослідницькі лабораторні заняття, презентації, консультації й дискусії, робота в інтернет-класі:, дистанційні консультації та ін., спрямовані на активізацію і стимулювання навчально-пізнавальної діяльності студентів.

Підходи до навчання: використовуються студентоцентрований, проблемно-орієнтований, діяльнісний, комунікативний, професійно-орієнтований, міждисциплінарний підходи.

Реалізація навчального процесу здійснюється під час лекційних, лабораторних занять, самостійної позааудиторної роботи з використанням сучасних інформаційних технологій навчання, консультацій з викладачами.

Для **формувань умінь та навичок** застосовуються такі **методи навчання:**

- вербальні/словесні (*лекція, пояснення, розповідь, бесіда, інструктаж*);
- наочні (*спостереження, ілюстрація, демонстрація*);
- практичні (*проведення експерименту, практики*);
- пояснювально-ілюстративний або інформаційно-рецептивний, який передбачає пред'явлення готової інформації викладачем та її засвоєння студентами;
- репродуктивний (*виконання лабораторних завдань за зразком*);
- метод проблемного викладу матеріалу на лекційних заняттях.

3.4. Технічне й програмне забезпечення/обладнання.

Комп'ютери в комп'ютерних класах 8 к. ЧНУ кафедри КСМ з наступною конфігурацією:

-MotherboardAsusPrime H310M-A R2.0

- CPU IntelPentiumGold G5400 (BX80684G5400) s1151 BOX

- SSD Apacer AS350 Panther 240GB 2.5" SATAIII TLC (AP240GAS350-1)
- MemoryHyperX DDR4-2400 8192MB PC4-19200 FuryBlack (HX424C15FB2/8)
- CaseGameMax ET-207 400 Вт
- KeyboardDefenderElement HB-520 PS/2 Black (45520)
- Mouse 2E MF107 USB Black (2E-MF107UB)
- Monitor 21.5" Philips.

Програмне забезпечення: ліцензійні пакети Windows 10, MS Office software 79P-05726 OfficeProPlus 2019 UKR OLP NL Acdmc Non-specificNo Level (Word, Excel, Power Point, Access); відкриті пакети Linux, Ubuntu чи спеціалізовані інші; хмарний сервіс GoogleColab.

4. Система контролю та оцінювання

4.1. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання є досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни.

Шкала та критерії 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	

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

Поточне оцінювання(аудиторна та самостійна робота)								Підсумковий контроль (залік)	Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
5	5	5	5	5	5	5	5	60	100

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

4.3. Засоби оцінювання

Засобами оцінювання результатів навчання студента є: завдання до лабораторних занять, тести.

4.5. Політика дисципліни

Визначається системою вимог викладача щодо рівня знань і засвоєння матеріалу студентом при вивченні дисципліни, та ґрунтується на засадах академічної доброчесності з урахуванням норм законодавства України щодо академічної

доброчесності та Статуту, положень Університету, й інших нормативних документів, які регламентують організацію освітнього процесу при вивченні дисципліни.

Вимоги стосуються заохочень і нарахування додаткових балів за активну участь у дискусіях щодо аналізу і обговорення тематичного матеріалу на лекціях і лабораторних заняттях, ґрунтовної підготовки до занять, відсутності пропусків без поважних причин, виявлення поглиблених знань під час захисту звітів з лабораторного практикуму і модульного контролю.

5. Перелік питань до підсумкового модуль-контролю (заліку)

1. Які класи обчислювальної складності Ви знаєте?
2. Що пояснили досліди Штерна-Герлаха?
3. Чим відрізняють біти від квантових бітів?
4. Наведіть приклади дворівневих систем, придатних для фізичної реалізації кубітів.
5. Для розв'язання якої задачі призначений алгоритм Шора?
6. Умова ортогональності векторів
7. Добуток бра-кет і ортогональність
8. Ортонормований базис
9. Ортогональні й унітарні матриці
10. Алгоритм перевірки ортонормованості базису
11. Алгоритм представлення заданого кет-вектора в ортонормованому базисі
12. Алгоритм знаходження довжини кет-вектора в заданому базисі
13. Математична модель квантового спіна та фотона
14. Аліса, Боб, Єва і протокол BB84
15. Умова заплутаності(незаплутаності) кубітів
16. Заплутування кубітів з допомогою вентиля CNOT
17. Класичне пояснення заплутаності
18. Нерівність Белла
19. Протокол Еккерта для квантового розподілу ключів
20. Квантовий вентиль Кероване НЕ
21. Квантові однокубітові вентиля (X,Y,Z)
22. Вентиль Адамара
23. Теорема про заборону клонування
24. Коло Белла
25. Надщільне кодування
26. Квантова телепортація
27. Алгоритм Дойча
28. Кронекерів добуток матриць Адамара
29. Алгоритм Дойча-Джози
30. Алгоритм Саймона
31. Алгоритм Шора і криптоаналіз
32. Квантове перетворення Фур'є
33. Алгоритм Гровера і пошук даних
34. Яке перетворення лежить в основі алгоритму Шора?
35. Вкажіть вираз дискретного перетворення Фур'є кубіту
36. Яке співвідношення дозволяє визначити період функції в алгоритмі Шора?
37. Який алгоритм призначений для факторизації цілих чисел?
38. Який вираз відповідає однокубітовому оператору $A(j)$?

39. Як діє оператор $A(j)$ на стани $|0\rangle$ і $|1\rangle$?
40. Який вираз відповідає двокубітовому оператору $B(j)$?
41. Як діє оператор $B(j)$ на стани $|0\rangle, |1\rangle, |2\rangle, |3\rangle$?
42. Яка кількість теплоти виділяється при стиранні одного біта інформації?
43. Яка функція є зворотною?
44. Яку проблему дозволяє вирішити використання зворотної логіки?
45. Які зворотні логічні елементи Ви знаєте?
46. Яка умова виконується при збереженні парності логічного елемента?
47. Яку функцію виконує вентиль Фредкіна?
48. Яку функцію виконує вентиль Фейнмана?
49. Яку функцію виконує вентиль Тоффолі?
50. Який зі зворотних логічних елементів є універсальним і зберігає парність?

6. Рекомендована література

6.1. Базова (основна)

1. Nielsen, M. A., and Chuang, I. L. (2020). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. IBM QX backend information (2018). Available at <https://github.com/QISKit/ibmqx-backend-information>
3. Bernhardt C. *Quantum computing for everyone* . - Cambridge, MA: The MIT Press, 2019. – 194 p.
4. Berman G.P., et al. *Introduction to quantum computers*. – WSP: London, 2017. - 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, 2020. – 256p.
8. *Basics of Quantum Computing* . Методичні вказівки до лабораторного практикуму/ Укладач Дейбук В.Г. - Чернівці, 2022 (електронне видання)

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. Yuriyuk, V. Deibuk. Building a generalized peres gate with multiple control signals. *Advances in Intelligent Systems and Computing* vol 754, 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. Pacheco, M. M. Vellasco, “Evolutionary Electronics: Automatic Design of Electronic Circuits and Systems by Genetic Algorithms”. CRC Press, 2020.
7. L. Spector, “Automatic Quantum Computer Programming: A Genetic Programming Approach”. Kluwer Academic Publishers, 2019.

7. 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/>