

**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**

### ***Квантовий комп'ютинг***

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

**обов'язкова**

(обов'язкова чи вибіркова)

**Освітньо-наукова програма – “Комп'ютерна інженерія технологій**

***інтернету речей і кіберфізичних систем”***

**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))

**Навчально-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 «Квантовий комп'ютинг» 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.

## **2. 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 несполіномної складності.

**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.

## **4. Результати навчання**

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

### **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

### **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

### **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.

## 5. Опис навчальної дисципліни

### 5.1. 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

### 5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	Інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Теми лекційних занять</b>	<b>Змістовий модуль 1.</b>					
<b>Тема 1.</b> Вступ. Квантові системи зі спіном, фотони Вимірювання.	5	2	-	0	-	3
<b>Тема 2.</b> Лінійна алгебра. Ортонормований базис. Інструменти лінійної алгебри.	10	2	-	0	-	8
<b>Тема 3.</b> Спін і кубіти. Протокол BB84.	10	2	-	2	-	6
<b>Тема 4.</b> Заплутаність квантових станів. Вентиль CNOT	10	2	-	2	-	6

<b>Тема 5.</b> Нерівність Белла. Протокол Екерта для квантових розподілених ключів	10	2	-	3	-	5
<b>Тема 6.</b> Класична логіка. Вентилі і кола. Зворотні обчислення.	5	1	-	0		4
<b>Тема 7.</b> Квантові вентилі і кола. Теорема про заборону клонування. Квантова телепортація.	20	2	-	4		14
<b>Тема 8.</b> Квантові алгоритми (Дойча, Дойча-Джози, Шора)	20	2	-	4		14
<b>Усього годин</b>	90	15	-	15	-	60

### 5.2.1. Теми лабораторних занять

№	Назва теми (завдання)	Кількість годин
1	Основи роботи у системі IBM Quantum Composer	2
2	Однокубітні гейти в системі IBM Quantum Composer	2
3	Контрольовані гейти в системі IBM Quantum Composer	3
4	Квантові алгоритми квантової телепортації, Дойча, Дойча-Джоза	4
5	Квантові алгоритми Шора, Гровера, модулярна арифметика	4
	Разом	15

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

**Програмне забезпечення** для виконання лабораторних робіт: веб-додатки QCAD та QCS

### 5.2.2. 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.

### 5.2.3. Самостійна робота

№	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
	<b>Разом</b>	<b>60</b>

## 6. 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.

**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:**

### **6.1. Словесні методи навчання. Навчальна лекція**

За допомогою даного методу забезпечується усне викладення матеріалу великими ємністю й складністю логічних побудов, доказів і узагальнень. В ході лекції використовуються прийоми усного викладення інформації, підтримання уваги протягом тривалого часу, активізації мислення студентів, прийоми забезпечення логічного запам'ятовування, переконання, аргументації, доказів, класифікації, систематизації і узагальнення. В залежності від специфіки лекційного матеріалу іноді використовується лекція-діалог.

### **6.2. Індуктивний метод навчання**

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних занять, коли матеріал носить, здебільшого, фактичний характер. В рамках лабораторних занять метод застосовується при виконанні технічних задач, коли студенти використовують раніше здобуті теоретичні знання при роботі з конкретними пристроями (комп'ютерами) та програмними продуктами.

### **6.3. Репродуктивний метод навчання**

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних і лабораторних занять, а також під час самостійної роботи студентів. Метод передбачає роботу студентів за визначеним алгоритмом. Згідно з методом для виконання завдань студентам надаються методичні вказівки, правила і навчальні приклади.

### **6.4. Проблемно-пошукові методи навчання**

Проблемно-пошукові методи застосовуються в ході проблемного навчання, а саме в процесі виконання лабораторних робіт та індивідуальних науково-дослідних завдань. Слід зауважити, що під проблемною ситуацією треба вважати невідповідність між тим, що вивчається і вже вивченим. При використанні проблемно-пошукових методів навчання викладач використовує такі прийоми: створює проблемну ситуацію (ставить питання, пропонує задачу, експериментальне завдання), організує колективне обговорення можливих підходів до рішення проблемної ситуації, стимулює висування гіпотез, тощо. Студенти роблять припущення про шляхи вирішення проблемної ситуації, узагальнюють раніше набуті знання, виявляють причини явищ, пояснюють їхнє походження, вибирають найбільш раціональний варіант вирішення проблемної ситуації. Викладач обов'язково керує цим процесом на всіх етапах, а також за допомогою запитань-підказок. Також даний метод використовується при опрацюванні матеріалів в системі дистанційної освіти «Moodle».

### 6.5. Наочний метод навчання

Наочний метод достатньо важливий для студентів, оскільки забезпечує візуальне подання навчального матеріалу, зокрема, з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. При викладанні дисципліни наочний метод навчання поєднується зі словесними методами для представлення інформації у вигляді таблиць, рисунків, схем та діаграм.

### 7. Система контролю та оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є

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

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

#### 7.1. 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	Пояснення	Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою
<b>A</b>	Відмінно	<b>90 – 100</b>	<b>відмінно</b>
<b>B</b>	дуже добре	<b>80-89</b>	<b>добре</b>
<b>C</b>	Добре	<b>70-79</b>	
<b>D</b>	Задовільно	<b>60-69</b>	<b>задовільно</b>
<b>E</b>	Достатньо	<b>50-59</b>	
<b>FX</b>	(незадовільно) з можливістю повторного складання	<b>35-49</b>	<b>незадовільно</b>
<b>F</b>	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом	<b>1-34</b>	

#### Розподіл балів, які отримують студенти

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 ... Л5 – лабораторні роботи

## 8. Рекомендована література

### 8.1. 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. Дейбук В.Г. Конспект лекцій з «Основ квантового комп'ютингу» (англ. мовою). – Чернівці: ЧНУ, 2022, 120с. (електронне видання).
9. Лабораторні роботи з “Основ квантового комп'ютингу” (англ. мовою)/ Укладач Дейбук В.Г. - Чернівці, 2022 (електронне видання)

### 8.2. 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. 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.

## 9. 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/>