

Львівський національний університет імені Івана Франка

**Кафедра теоретичної фізики**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан  
фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Якібчук П. М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

# **КВАНТОВІ КОМП'ЮТЕРИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Галузь знань **10** Природничі науки  
Спеціальність **104** Фізика та астрономія  
фізичного факультету

**2020–2021 навчальний рік**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантові комп'ютери: сучасний стан та перспективи**» для студентів за галуззю знань **10 Природничі науки**, спеціальністю **104 Фізика та астрономія** 2020 року. — 9 с.

**Розробник:**

*Гнатенко Х. П.*, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики

Протокол № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри теоретичної фізики

\_\_\_\_\_ (Ткачук В. М.)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. Голова \_\_\_\_\_ (Якібчук П. М.)

© Львівський національний  
університет імені Івана Франка, 2020

© Гнатенко Х. П. 2020

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — <b>3</b>		Вільного вибору
Модулів — <b>2</b>	Галузь знань <b>10 Природничі науки</b>	Рік підготовки: <b>5-й</b>
Змістових модулів — <b>2</b>	Спеціальність <b>104 Фізика та астрономія</b>	Семестр <b>10-й</b>
Загальна кількість годин — <b>90</b>		<i>Лекції</i> <b>16 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — <b>2</b> самостійної роботи студента — <b>3,6</b>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>магістр</b>	<i>Практичні, семінарські</i> <b>16 год.</b>
		<i>Лабораторні</i>
		<i>Самостійна робота</i> <b>58 год.</b>
		<i>Вид контролю: залік</i>

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить для денної форми навчання 55 %.

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

**Мета:** розуміння сучасних можливостей квантового програмування та перспектив використання квантових обчислень

**Завдання:** ознайомити студентів з основами роботи квантових комп'ютерів, особливостями квантового програмування, перспективами досягнення квантової переваги.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати:** особливості роботи квантових комп'ютерів, квантові алгоритми та можливості їх використання

**вміти:** реалізовувати квантові алгоритми на квантових комп'ютерах та симуляторах,

Для слухачів курсу необхідними є знання з квантової механіки, програмування, фундаментальних проблем квантової механіки.

## **3. Програма навчальної дисципліни**

### **МОДУЛЬ 1**

#### **Змістовий модуль 1. Квантові комп'ютери та квантові обчислення**

##### **Тема 1. Реалізація квантових комп'ютерів**

1. Історія створення та фізична реалізація квантових комп'ютерів.
2. Особливості квантових обчислень. Квантовий паралелізм. Квантова перевага. Помилки квантових обчислень та їх виправлення. Квантові комп'ютери компанії IBM та доступ до них.

##### **Тема 2. Квантове програмування**

3. Основні принципи створення квантових кіл. Тотожності квантових протоколів. Реалізація квантових кіл на комп'ютерах компанії IBM. Qauntum Composer.
4. Квантове програмування мовою Qiskit. Операції над квантовими бітами. Створення квантових кіл, їх реалізація на квантовому симуляторі та на квантових комп'ютерах.

### **МОДУЛЬ 2**

#### **Змістовий модуль 2. Квантові алгоритми**

##### **Тема 3. Основні квантові алгоритми та протоколи для їх реалізації**

9. Алгоритм Гровера та його реалізація на квантовому комп'ютері. Квантовий протокол для алгоритму Шора та його реалізація на квантових комп'ютерах компанії IBM.
10. Розв'язання задачі Дойча-Джозси на квантовому комп'ютері. Протокол для реалізації квантової телепортації.

##### **Тема 4. Квантові алгоритми та досягнення квантової переваги**

14. Моделювання фізичних систем на квантовому комп'ютері
15. Задачі оптимізації. Алгоритм QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm)

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>МОДУЛЬ 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Квантові комп'ютери та квантові обчислення</b>						
Тема 1. Реалізація квантових комп'ютерів	23	4		4		15
Тема 2. Квантове програмування	22	4		4		14
<b>Разом – зм. модуль 1</b>	<b>45</b>	<b>8</b>		<b>8</b>		<b>29</b>
<b>МОДУЛЬ 2</b>						
<b>Змістовий модуль 2. Квантові алгоритми</b>						
Тема 3. Основні квантові алгоритми та протоколи для їх реалізації	23	4		4		15
Тема 4. Квантові алгоритми та досягнення квантової переваги	22	4		4		14
<b>Разом – зм. модуль 2</b>	<b>45</b>	<b>8</b>		<b>8</b>		<b>29</b>
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>16</b>		<b>16</b>		<b>58</b>

#### 5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття в курсі не передбачені.

#### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Квантові біти та операції над ними	2
2	Приготування квантових станів на квантових комп'ютерах компанії IBM	2
3	Знаходження заплутаності чистих та змішаних квантових станів на квантових комп'ютерах	2
4	Створення квантових кіл та їх реалізація у Qiskit	2
5	Алгоритми Гровера та Шора	2
6	Розв'язання задачі Дойча-Джозси	2
7	Модель Ізінга та її реалізація на квантовому комп'ютері	2
8	Алгоритм QAOA	2
	<b>Разом</b>	<b>16</b>

#### 7. Теми лабораторних занять

Практичні заняття в курсі не передбачені.

#### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Архітектура квантових процесорів	5

2	Фізична реалізація операцій над квантовими бітами	5
2	Оптимізація квантових обчислень	4
3	Трикубітні квантові вентиля	4
4	Візуалізація квантового стану на Q-сфері	4
5	Створення квантових протоколів з використанням quantum assembly language	4
6	Візуалізація квантового стану у Qiskit	4
7	Квантовий алгоритм для розв'язання системи лінійних рівнянь	4
8	Алгоритм Бернштейна-Вазірані (Bernstein-Vazirani)	6
9	Квантовий алгоритм для знаходження власних значень оператора (quantum eigenvalue estimation algorithm)	6
14	Перспективи використання квантових комп'ютерів в фармацевтиці.	4
15	Використання квантового програмування для оптимізацію портфелю цінних документів	4
16	Генерування музики на квантових комп'ютерах. Квантова музика	4
	<b>Разом</b>	<b>58</b>

### 10. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни «Нові задачі квантової механіки» застосовують такі методи навчання:

- *Наочні*: виведення на дошці основних співвідношень під час лекцій та лабораторних занять; візуалізація квантових кіл у Quantum Composer, Qiskit
- *Практичні*: завдання для практичних занять.

### 11. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (підсумкове тестування за двома змістовими модулями, по 20 балів), оцінку роботи на лабораторних заняттях (10 балів) — разом за семестр 50 балів. Заліковий бал дорівнює семестровій оцінці, помноженій на 2. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

### 12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

#### 1. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота		Робота на практичних	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2		
T1, T2	T3, T4		
20	20	10	50x2=100

#### Шкала оцінювання: Університету, національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою	
			Екзаменаційна оцінка, оцінка з диференційованого заліку	Залік
90–100	A	2. <i>Відмінно</i>	• <i>Відмінно</i>	
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	
71-80	C	<i>Добре</i>		

61-70	<b>D</b>	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>	<b>4.</b> <i>Зараховано</i>
51-60	<b>E</b>	<i>Достатньо</i>		

### **13. Методичне забезпечення**

До системи методичного забезпечення дисципліни належить програма курсу, робоча навчальна програма, тестові завдання для модульного контролю.

### **14. Рекомендована література**

#### **Базова**

1. Т. Є. Крохмальський, [Вступ до квантових обчислень](#). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 204 с.
2. Ткачук В. М., [Фундаментальні проблеми квантової механіки](#). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 стор.
3. І. О. Вакарчук, [Квантова механіка](#) (вид. 4-е, доп.). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. (Розділ Основи квантової інформації.)
4. Nielsen, M. A., Chuang, I. L. *Quantum Computation and Quantum Information* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. (2010).
5. *Hayashi M.* Quantum Information Springer, New York, NY. (2006) <https://doi.org/10.1007/3-540-30266-2>

#### **Допоміжна**

1. Arute, Frank; et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor *Nature*. **574**, 505 (2019) [doi:10.1038/s41586-019-1666-5](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5).
2. Barabasi et al. Student User Experience with the IBM QISKit Quantum Computing Interface. In: Arai K., Bhatia R. (eds) *Advances in Information and Communication. FICC 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 70. Springer, Cham, 2020 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12385-7\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12385-7_41)

### **15. Інформаційні ресурси**

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>
2. Arxiv <https://arxiv.org/>
3. <https://quantum-computing.ibm.com/>
4. <https://qiskit.org/documentation/tutorials/>