

Львівський національний університет імені Івана Франка

**Кафедра теоретичної фізики**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан  
фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Якібчук П. М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

# **КВАНТОВА МЕХАНІКА І ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Галузь знань **10 Природничі науки**  
Спеціальність **105 Прикладна фізика та наноматеріали**  
фізичного факультету

**2020–2021 навчальний рік**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантова механіка і елементи квантової інформації**» для студентів за галуззю знань **10 Природничі науки**, спеціальністю **105 Прикладна фізика та наноматеріали** 2020 року. — 8 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>	Галузь знань <b>10 Природничі науки</b>	Вибіркова
Модулів – <b>2</b>	Спеціальність <b>105 прикладна фізика та наноматеріали</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>
Змістових модулів – <b>2</b>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Семестр</i> <b>7-й</b>
Загальна кількість годин - <b>90</b>		<i>Лекції</i> <b>32 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>Аудиторних: 4</i> <i>Самостійної роботи студента: 1,6</i>		<i>Практичні</i> <b>32 год.</b>
		<i>Лабораторні</i> год.
		<i>Самостійна робота</i> <b>26 год.</b>
		<i>Вид контролю: іспит</i>

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить для денної форми навчання 40 %.

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

У курсі “Квантова механіка і елементи квантової інформації” висвітлюються фізичні основи та задачі квантової механіки, яка є фундаментальним розділом теоретичної фізики, а також подаються основні проблеми квантової інформації.

**Мета:** формування в майбутнього фізика цілісної картини атомних явищ, розуміння законів мікросвіту.

**Завдання:** навчити студентів самостійно розв’язувати задачі квантової механіки та квантової інформації.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати** основні поняття та принципи квантової механіки, методи проведення квантових обчислень, основні проблеми квантової інформації.

**вміти:** застосовувати математичний апарат квантової механіки для розв’язання задач, будувати квантові протоколи для розв’язання основних задач квантової інформації.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, атомна фізика, квантова механіка 1.

## **3. Програма навчальної дисципліни**

### **МОДУЛЬ 1**

**Змістовий модуль 1. Рух частинки в центральном-симетричному полі.**

**Теорія збурень. Релятивістська квантова механіка. Квантова механіка системи багатьох частинок.**

**Тема 1. Рух частинки в центральносиметричному полі**

1. Рух в полі центральної сили. Радіальне рівняння Шредінгера.
2. Рух в кулонівському полі. Атом водню.

**Тема 2. Теорія збурень**

3. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок.
4. Теорія збурень при наявності виродження. Дворівнева система. Ефект Штарка для атома водню.
5. Варіаційний метод.

**Тема 3. Релятивістська квантова механіка**

6. Рівняння Кляйна-Гордона-Фока.
7. Рівняння Дірака. Матриці Дірака.
8. Момент кількості руху в теорії Дірака. Спін.

**Тема 4. Квантова механіка системи багатьох частинок**

9. Принцип тотожності частинок в квантовій механіці. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Бозони, ферміони.

### **МОДУЛЬ 2**

**Змістовий модуль 2. Квантова інформація**

**Тема 5. Двостанові квантові системи**

10. Спінова матриця густини. Синглетний стан. Парадокс ЕПР.
11. Нерівності Белла. Заплутані стани. Міра заплутаності .

**Тема 6. Квантові комунікації**

12. Теорема про неклонування та неможливість миттєвої передачі інформації. Квантова телепортація. Квантова криптографія.

**Тема 7 Квантові комп’ютери та квантові обчислення**

13. Квантові обчислення. Квантовий біт. Квантовий процесор. Квантові логічні елементи .
14. Квантові протоколи. Задача Дойча–Джозси.
15. Декогеренція. Декогеренція кота Шредінгера
16. Швидкість еволюції квантових систем. Квантова брахістохрона

**Тема 8 Квантове програмування**

17. Програмування на квантових комп'ютерах.

18. Реалізація квантових протоколів на квантових комп'ютерах

**3. 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. Рух частинки в центральньо-симетричному полі. Теорія збурень. Релятивістська квантова механіка. Квантова механіка системи багатьох частинок.</b>						
Тема 1. Рух частинки в центральносиметричному полі	11	4	4			3
Тема 2. Теорія збурень	18	6	6			6
Тема 3. Релятивістська квантова механіка	11	4	4			3
Тема 4. Квантова механіка системи багатьох частинок	5	2	2			1
<b>Разом – зм. модуль 3</b>	<b>45</b>	<b>16</b>	<b>16</b>			<b>13</b>
<b>МОДУЛЬ 2</b>						
<b>Змістовий модуль 2. Квантова інформація.</b>						
Тема 1. Двостанові квантові системи	12	4	4			4
Тема 2. Квантові комунікації	5	2	2			1
Тема 3. Квантові комп'ютери та квантові обчислення	32	8	8			6
Тема 4. Квантове програмування	6	2	2			2
<b>Разом – зм. модуль 4</b>	<b>45</b>	<b>16</b>	<b>16</b>			<b>13</b>
<b>Усього годин за VII семестр</b>	<b>90</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			<b>26</b>

## **6. Теми практичних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Рух у центрально-симетричному полі.	2
2	Теорія збурень для невиродженого випадку.	2
3	Теорія збурень при наявності виродження.	2
4	Розв'язування задач за допомогою варіаційного методу	2
5	Рівняння Кляйна-Гордона-Фока	2
6	Рівняння Дірака. Властивості матриць Дірака	2
7	Симетричні та антисиметричні хвильові функції	2
8	Власні значення та власні вектори спінової матриці густини	2
9	Міра заплутаності квантових станів	2
10	Алгоритм для реалізації квантової телепортації	2
11	Операції над квантовим бітом	2
12	Написання квантових протоколів	2
13	Декогеренція	2
14	Задача про квантову брахістохрону	2
15	Квантове програмування	4
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## **8. Самостійна робота**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок. (Ангармонічні осцилятори $x^2 + x^4$ та $x^4$ . Моделі з малими параметрами створеними «з нічого» $1/N$ -розклади)	4
2	Варіаційний метод. (Ангармонічний осцилятор).	3
3	Рівняння неперервності.	2
4	Метод Хартрі-Фока. Теорія молекул.	4
5	GHZ рівність	2
6	Квантові стани N спінів	2
7	Фізична реалізація операцій над кубітами	2
8	Ефект Зенона	2
9	Точна модель декогеренції	2
10	Програмування мовою Qiskit	3
	<b>Разом</b>	<b>26</b>

## **10. Методи навчання**

Під час вивчення навчальної дисципліни «Квантова механіка» застосовують такі методи навчання:

- *Наочні*: виведення на дошці основних співвідношень на лекціях і практичних заняттях; побудова квантових протоколів у програмі Composer
- *Практичні*: задачі для практичних занять.

## 11. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (контрольні роботи за двома змістовими модулями  $2 \times 20 = 40$  балів), оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях (10 балів) — разом за семестр 50 балів, іспит — 50 балів. Сумарна оцінка за семестр виставляється за 100-бальною шкалою.

## 12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

*Приклад розподілу балів, які отримують студенти*

Поточне тестування та самостійна робота		Робота на практичних	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль <b>3</b>	Змістовий модуль <b>4</b>			
<b>T1-T4</b>	<b>T5-T8</b>			
20	20	10	50	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	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>	<i>Зараховано</i>
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	
71-80	C	<i>Добре</i>		
61-70	D	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>	
51-60	E	<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. *Вакарчук І. О.*, Квантова механіка (видання четверте, доповнене). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 стор. <http://www.ktf.franko.lviv.ua/personal/vakarchuk.html>
2. *Вакарчук І. О., Кулій Т. В., Книгіницький О. В., Ткачук В. М.* Збірник задач з квантової механіки. Львів, 1996.
3. *Ткачук В. М.*, Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 стор. <http://www.ktf.franko.lviv.ua/books/Tkachuk-FPQM.pdf>
4. *Юхновський І. Р.* Квантова механіка. К., 1995.

5. *Глауберман А. Ю.* Квантова механіка. Львів, 1962.
6. *Dirac P. A. M.* Principles of quantum mechanics Oxford at the Clarendon press, 1947.
7. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 1989.
8. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 8,9. М., 1966.
9. Barabasi S. 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)

#### Допоміжна

1. *Ферми Е.* Квантовая механика: Конспект лекций. М., 1968.
2. *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968.
3. *Зоммерфельд А.* Строение атома и спектра. Т.2. М., 1956.
4. *Hayashi M.* Quantum Information Springer, New York, NY. (2006)  
<https://doi.org/10.1007/3-540-30266-2>
5. Quantum information. In: Quantum Information. Springer, New York, NY. (2007)  
[https://doi.org/10.1007/978-0-387-36944-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-36944-0_5)

### **15. Інформаційні ресурси**

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>
2. IBM Quantum computing <https://www.ibm.com/quantum-computing/?fbclid=IwAR2zUaSckBK3gynvp1cGAHNUwKILmrAWtjLfcZ9Iv7iiLNW0zrOA0EceL6c>