

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра математики та теоретичної радіофізики



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник директора  
з навчальної роботи

Грабчук Г.П.

«24» травня 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Квантова механіка**

для студентів

галузь знань

**10 Природничі науки**

спеціальність

**105 Прикладна фізика та наноматеріали**

освітній рівень

**бакалавр**

освітня програма

**Нанофізика та комп'ютерні технології**

вид дисципліни

**обов'язкова**

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2022/2023

Семестр

5

Кількість кредитів ECTS

6

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

іспит

### Викладачі:

Володимир ВИСОЦЬКИЙ, доктор фіз.-мат. наук, завідувач кафедри фізичної МТРФ

Микола МАКСЮТА, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри МТРФ

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

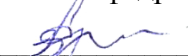
**КИЇВ – 2022**

**Розробник:**

Володимир ВИСОЦЬКИЙ, доктор фіз.-мат. наук, завідувач кафедри фізичної МТРФ

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

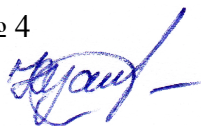
 Валерій Скришевський

Протокол № 5 від «19» квітня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією інституту високих технологій

Протокол від «13» травня 2022 року № 4

Голова науково-методичної комісії



Наталля Русінчук

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – «Квантова механіка»: ознайомлення з ідейними основами та оволодіння основними теоретичними положеннями та математичними методами, що дозволить на сучасному рівні вивчати дуже широкий спектр різних процесів на рівні ядер, атомів, молекул, макроскопічних середовищ та окремих частинок. Ця дисципліна лежить в основі таких сучасних галузей науки, як квантова електроніка, нанофізика, фізика напівпровідників, молекулярна біофізика, фізика елементарних частинок тощо. Вона є основою для розуміння та розрахунків процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з усіма типами частинок та з різними формами конденсованої речовини. Базові положення квантової механіки широко використовуються в усіх галузях фізики, а також в хімії, астрофізиці та інших галузях науки.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Квантова механіка» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: «Загальна фізика», «Електродинаміка», «Статистична фізика», «Диференціальні рівняння», «Теорія ймовірності».

Попередні вимоги:

*бакалавр повинен знати:* основні закони, рівняння та співвідношення електрики та магнетизму, атомної фізики, статистичної фізики та відповідні розділи теорії диференціальних рівнянь, матаналізу, лінійної алгебри, теорії ймовірностей.

*бакалавр повинен вміти:* здійснювати постановку фізичних задач, ідентифікувати практично доцільні підходи до їхнього вирішення та використовувати необхідні в кожному конкретному випадку математичні методи.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни «Квантова механіка» дозволяє зрозуміти сутність таких явищ, технологій та проблем: Сутність процесу корпускулярно-хвильового дуалізму; Методи аналізу процесів в атомах та молекулах на основі рівняння Шредингера; Трансформація фізичних властивостей конденсованого стану речовини від атомів/молекул до наночастинок та перехід до макроскопічних властивостей; Електронні властивості наномасштабних систем та систем пониженої розмірності; Особливості процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з квантовими об'єктами; Проблематика та методи розрахунку електронних хвильових функцій та енергетичного спектру для нанорозмірних систем; Особливості впливу релятивістських явищ на характеристики частинок та їх ансамблів на основі рівняння Дірака.

### **4. Завдання навчальної дисципліни (навчальні цілі):**

*Навчання дисципліни має на меті розвивати у студентів такі компетентності:*

ЗК1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК7 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК9 Здатність працювати автономно.

ЗК13 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями, вміннями, у тому числі в сфері, відмінній від професійної.

ЗК14 Здатність бути критичним і самокритичним.

ФК01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів..

ФК06 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

ФК7 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

ФК10. Здатність реалізовувати автоматизацію експериментальних досліджень у різних сферах науки із використанням сучасних комп'ютерних технологій.

ФК11. Здатність використовувати комп'ютерні технології при проектуванні, розробці та діагностиці електронного обладнання.

ФК12. Виборний блок 1. Знання фізичних основ сучасного експериментального обладнання та вміння застосовувати їх до вибору, проектування, виготовлення та удосконалення вимірювальних приладів для застосувань у природничих науках.

### 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
<b>1</b>	<b>знати:</b>	<b>лекційні заняття</b>	<b>письмові модульні контрольні роботи</b>	<b>45</b>
1.1	Загальні фізико-математичні основи опису явищ мікросвіту за допомогою хвильової функції на основі базових рівнянь Шредінгера та Дірака. Теорію операторів та методи їх використання в кантовій теорії	<i>лекція</i>	МКР	7
1.2	Загальні підходи до обчислення механічних, електронних, оптичних, магнітних та інших фізичних мікро- та макро-систем.	лекційні та практичні заняття	МКР	7
1.3	Базові методи проведення розрахунків з використанням квазікласичного методу, прямого варіаційного методу та методу стаціонарної теорії збурень.	лекційні та практичні заняття	МКР	7
1.4	Методи нестационарної теорії збурень для резонансних та нерезонансних типів взаємодії	лекційні та практичні заняття	МКР	6
1.5	Особливості взаємодії квантових систем з електромагнітними полями. Теорію спонтанного випромінювання та її прикладні сторони. Принципи та методи генерації вимушеного випромінювання в модельних та реальних системах	лекційні та практичні заняття	МКР	6
1.6	Методи матриці густини для аналізу еволюції квантових систем за умов стохастичної релаксації	лекційні та практичні заняття	МКР	6
1.7	Принципи побудови та методи використання релятивістських рівнянь квантової механіки	лекційні та практичні заняття	МКР	6
<b>2</b>	<b>вміти:</b>	<b>лекційні та практичні заняття</b>	<b>письмові модульні контрольні роботи</b>	<b>45</b>
2.1	Розв'язувати задачі на основі використання базових наближених методів (квазікласичного методу, прямого варіаційного методу та методу стаціонарної теорії збурень).	лекційні та практичні заняття	МКР	25
2.2	Аналізувати задачі, які описують вплив електромагнітного поля на	лекційні та практичні заняття	МКР	20

	квантові системи.			
<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	<b>лекційні та практичні заняття</b>	<b>письмові модульні контрольні роботи</b>	<b>5</b>
3.1	Здатність грамотно будувати наукову комунікацію як в усній так і письмовій формах, підбирати правильну термінологію	лекційні та практичні заняття	МКР	2
3.2	Здатність до командної роботи у великих науково-дослідницьких проектах	лекційні та практичні заняття	МКР	3
<b>4</b>	<b>автономність та відповідальність:</b>	<b>лекційні та практичні заняття</b>	<b>письмові модульні контрольні роботи</b>	<b>5</b>
4.1	Здатність до самостійного пошуку наукової літератури або інших джерел інформації для розв'язання поставленої перед аспірантом науково-дослідницької задачі	лекційні та практичні заняття	МКР	5

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1
ПРН01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+	+	+	+	+	+	+					
ПРН02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.		+	+		+	+	+	+	+			
ПРН07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики			+	+	+	+		+	+	+	+	+
ПРН14. Організувати результативну роботу індивідуально і як член команди.										+	+	+
ПРН 15. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії.								+	+	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання

Рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.10 [знання] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання:

- **семестрове оцінювання:** Навчальний семестр має три змістовні модулі. Після завершення лекцій №4, №8 та №12 і паралельних практичних занять проводяться письмові модульні контрольні роботи. Обов'язковим для допуску до іспиту є: написання модульних контрольних робіт з кількістю балів не менше 12.
- **підсумкове оцінювання (у формі іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет складається з 2 питань, питання оцінюються по 20 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, оцінка за іспит не може бути меншою **24 бали**.

- **умови допуску до підсумкового іспиту:** умовою допуску до іспиту є отримання аспірантом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр. Аспіранти, які протягом семестру сумарно набрали меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум **36 балів**, для одержання допуску до іспиту обов'язково повинні написати додаткову контрольну роботу.

У випадку відсутності аспіранта з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті”

## 7.2. Організація оцінювання;

Оцінювання за формами контролю:

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – 12	Max. – 20
Модульна контрольна робота 1	12	20
Модульна контрольна робота 2	12	20
Модульна контрольна робота 3	12	20

Орієнтований графік оцінювання:

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота 1	жовтень
Модульна контрольна робота 2	листопад
Модульна контрольна робота 3	грудень
Добір балів/додаткова контрольна робота	грудень
Іспит	грудень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:

Значення	Змістовні модулі	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

## 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100%
<b>Добре</b> / Good	75-89%
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74%
<b>Незадовільно</b> / Fail	0-59%

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ теми	Назва лекції (тема семінару)	Кількість годин		
		Лекції	Семінари	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль №1 «Ідейні засади та основи математичного апарату квантової механіки»</b>				
1	Історія та передумови виникнення квантової механіки. Статистичний характер явищ мікросвіту та імовірнісна інтерпретація хвильової функції	2		2
2	Стационарне рівняння Шредингера та принципи знаходження його розв'язків. Нескінченно глибока прямокутна яма	2		2



3	Постулати квантової механіки. Рівняння на власні значення та власні функції. Загальне співвідношення невизначеностей Гейзенберга-Робертсона	4		2
4	Нестационарне рівняння Шредингера. Рівняння неперервності. Теорема Еренфеста.	2		2
5	Рух частинки в полі центральної сили (1). Рівняння Шредингера і радіальний рух електрона в атомі	2		2
6	Рух частинки в полі центральної сили (2). Воднеподібні атоми, прості молекули і магнітні властивості атомів	4		4
7	Теорія представлень для стаціонарних систем. Матричний формалізм в квантовій механіці. Теорія представлень для нестационарних систем	4		4
8.	Спін та спін-залежні процеси в квантовій механіці. Модель та оператор спіну електрона	2		2
9.	Рівняння Паулі. Нормальний ефект Зеемана. Спін-орбітальний зв'язок. Аномальний ефект Зеемана. Принцип Паулі	4		4
1.	Основи квантової механіки. Хвильові властивості мікрочастинок. Закони збереження. Імпульс фотона. Розщеплення рівнів при поглинанні та випромінюванні		1	1
2.	Граничні умови. Рух в полі кусково-постійного потенціалу.		1	1
3.	Дельта-яма і бар'єр. Резонансне тунелювання. "Гребінка Дірака". Енергетичні зони		1	1
4.	Найпростіші оператори та дії з ними. Власні функції та власні значення найпростіших операторів		2	2
5.	Середні величини та струм ймовірності		2	2
6.	Оператор сили. Взаємодія двох потенціальних ям		1	1
7.	Прямокутна яма скінченої глибини		1	1
8.	Рух частинки в складних потенціалах		1	1
9.	Теорія представлень операторів (оператори $x$ , $1/x$ , $x^2$ та інші найпростіші величини в $p$ - та $E$ -представленні)		1	1
<b>ВСЬОГО</b>		<b>26</b>	<b>13</b>	<b>39</b>

№ теми	Назва лекції (тема семінару)	Кількість годин		
		Лекції	Семінари	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль №2 «Наближені методи і особливості взаємодії класичного та квантового електромагнітного поля з квантовими системами»</b>				
1.	Наближені методи в квантовій механіці. Метод квазікласичного наближення.	2		2
2.	Прямий варіаційний метод Рітца.	2		2
3.	Стаціонарна теорія збурень без виродження.	2		2
4.	Стаціонарна теорія збурень при наявності виродження квантового стану. Лінійний та квадратичний ефекти Штарка	2		2

5.	Нестационарна теорія збурень. Переходи в квантовій системі під дією гармонічного резонансного збурення довільної амплітуди. Прецесія Рабі.	2		2
6.	Взаємодія атома з полем рухомої класичною зарядженої частинки	2		2
7.	Взаємодія квантових систем з електромагнітними хвилями. Загальні співвідношення	2		2
8.	Правила відбору для поглинання та випромінювання світла в атомах та квантових системах. Мультипольні переходи в квантових системах.	2		2
1,2	Наближені методи. Метод квазікласичного наближення		2	2
3,4	Наближені методи. Прямий варіаційний метод Рітца		2	2
5,6	Наближені методи. Стационарна теорія збурень без виродження.		1	1
7.	Стационарна теорія збурень при наявності виродження		1	1
8.	Нестационарна теорія збурень		1	1
<b>ВСЬОГО</b>		<b>16</b>	<b>8</b>	<b>24</b>

**Змістовий модуль №3 «Теорія спонтанного випромінювання, метод матриці густини і релятивістські рівняння квантової механіки»**

1.	Метод вторинного квантування. Квантування вільного електромагнітного поля Особливості взаємодії атома з квантованим електромагнітним полем. Спонтанний розпад атомів у випадку гранично розрідженого спектру електромагнітних мод. Теорія спонтанного випромінювання атомів в просторово-обмежених системах і резонаторах	2		2
2.	Спонтанний розпад атомів у вільному просторі. Спонтанне випромінювання і вимушені переходи в квантових і лазерних системах	2		2
3.	Метод матриці густини. Чисті та змішані стани квантової системи. Рівняння руху для матриці густини	2		2
4.	Релаксація матриці густини. Самоузгоджені рівняння для електромагнітного поля і речовини в наближенні матриці густини	2		2
5.	Релятивістські ефекти, як наслідок збурення нерелятивістських систем. Релятивістське рівняння Клейна-Гордона-Фока	2		2
6.	Стационарне та нестационарне рівняння Дірака.	2		2
7.	Рівняння неперервності та вектор густини струму для частинок Дірака. Нерелятивістське наближення рівняння Дірака. Квантова теорія оператора спіна	2		4
1.	Рух електрона в магнітному та електричному полях. Квантування Ландау		1	2

2, 3.	Спін. Власні функції та власні значення комбінації операторів спіна. Прецесія спіна. Рух спіна в постійному та змінному магнітних полях		1	4
4	Взаємодія електромагнітної хвилі з атомами і частинками. Правила відбору.		2	2
5	Оператори народження та знищення.		1	1
6.	Метод матриці густини		1	4
7.	Релятивістські рівняння квантової механіки (рівняння Клейна-Гордона та рівняння Дірака)..		1	2
<b>ВСЬОГО</b>		<b>14</b>	<b>7</b>	<b>33</b>
<b>ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР</b>		<b>56</b>	<b>28</b>	<b>96</b>

Загальний обсяг **180** год., в тому числі:  
 Лекції **56** год.  
 Семінари **28** год.  
 Самостійна робота **96** год.

## 9. Рекомендована література:

### а) основна література:

1. *Висоцький В.І.* Квантова механіка та її використання в прикладній фізиці: Підручник.- Київ, Видавництво КНУШ, 2008.
2. *D.I.Blokhintsev.* Quantum mechanics, Springer Science & Business Media, 2012.
3. *Вакарчук І.О.* Квантова механіка: Підручник.- Львів, Видавництво Львівського університету, 1998.
4. *L D Landau, E. M. Lifshitz.* Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory, Elsevier, 2013.
5. *Находкін М.Г., Шека Д.І.* Атомна фізика: Підручник.- К., 2002.
6. *Фон Нейман И.* Математические основы квантовой механики, пер. с немецкого.- М., 1964, гл.3.

### Збірники задач

7. *Висоцький В.І. Максюта М.В., Ястремський І.О.* Збурник задач з квантової механіки, .- Київ, Видавництво КНУШ, 2020.

### б) додаткова література

*V. Vysotskii V.I.* The problem of controlled spontaneous nuclear gamma-decay: theory of controlled excited and radioactive nuclei gamma-decay // Physical Review C, 1998.- V. 58. - P. 337-350.