

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра математики та теоретичної радіофізики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ О. Ю. Нечипорук

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Квантова механіка

для студентів

галузь знань  
спеціальність  
рівень вищої освіти  
освітньо-наукова програма  
вид дисципліни

**10 Природничі науки**  
**105 Прикладна фізика та наноматеріали**  
**бакалавр**  
**Екофізика**  
**обов'язкова**

Форма навчання	очна
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»**

Завідувач кафедри МТРФ

\_\_\_\_\_ В.І.Висоцький

Протокол № \_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № \_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

С. П. Радченко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року.

## 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):**

- Надати базові ідейні основи курсу «Квантова механіка», які складають важливу частину загально-наукової та спеціальної підготовки бакалаврів за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».
- Надати та навчити використовувати основні рівняння квантової механіки на прикладах аналізу простих фізичних та модельних систем атомів, потенціальних ям, систем різних мікрочастинок з врахуванням їх взаємодії між собою та з зовнішніми електромагнітними полями.
- Навчити застосовувати основні відомості курсу у професійній діяльності на прикладі реальних систем квантової електроніки, атомної фізики, мікроелектроніки тощо.
- Дисципліна спрямована на забезпечення наступних результатів навчання.

Загальні компетентності:

ЗК-4 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності..

ЗК-9 Здатність вчитися і володіти сучасними знаннями.

Фахові компетентності:

ФК-8 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, для пошуку методів можливих рішень задач у галузі економіки.

ФК-9 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності

**5. Результати навчання.** У результаті вивчення дисципліни «Квантова механіка» студент отримає фахову підготовку, достатню для подальшого навчання за освітньою

програмою, для самостійного вивчення необхідної та додаткової наукової літератури, а також для вирішення типових задач, що потребують використання методів та знань з квантової механіки (в тому числі задач, які стосуються екофізики).

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>	лекційні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	50
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	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.2	Загальні підходи до обчислення механічних, електронних, оптичних, магнітних та інших фізичних мікро- та макро-систем.	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.3	Базові методи проведення розрахунків з використанням квазікласичного методу, прямого варіаційного методу та методу стаціонарної теорії збурень.	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.4	Методи нестационарної теорії збурень для резонансних та нерезонансних типів взаємодії	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
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	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.6	Методи матриці густини для аналізу еволюції квантових систем за умов стохастичної релаксації	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.7	Принципи побудови та методи використання релятивістських рівнянь квантової механіки	лекційні та практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
<b>2</b>	<b>вміти:</b>	практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	45
2.1	Розв'язувати задачі на основі використання базових наближених методів (квазікласичного методу, прямого варіаційного методу та методу стаціонарної теорії збурень).	практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
2.2	Аналізувати задачі, які описують вплив електромагнітного поля на квантові системи.	практичні заняття	Іспит, письмові модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	лекційні та практичні заняття	завдання для самостійної роботи	<b>5</b>
3.1	Здатність грамотно будувати наукову комунікацію як в усній так і письмовій формах, підбирати правильну термінологію	лекційні та практичні заняття	завдання для самостійної роботи	

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

Результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7		2.2	3.1
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--	-----	-----

дисципліни (код)								2.1		
ПРН-8 Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## 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 50 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – 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 студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр. Студенти, 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 студента 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	Стаціонарне 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 Ернфеста.	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). Водневоподібні 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 скінченної 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 квантованого 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. Стаціонарна теорія збурень без виродження.		1	1
7.	Стаціонарна 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>

<b>Змістовий модуль №3 «Теорія спонтанного випромінювання, метод матриці густини і релятивістські рівняння квантової механіки»</b>				
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.	Стаціонарне та нестаціонарне 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	2
4	Взаємодія електромагнітної хвилі з атомами і частинками. Правила відбору.		2	2
5	Оператори народження та знищення.		1	2
6.	Метод матриці густини. Обґрунтування методу та аналіз можливих аналогій в фізичних та інших системах (в тому числі в пролемах екофізики)		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>30</b>
<b>ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР</b>		<b>56</b>	<b>28</b>	<b>93</b>

Загальний обсяг	<b>181</b> год., в тому числі:
Лекції	<b>56</b> год.
Семінари	28 год.
Консультації	4 год.
Самостійна робота	<b>93</b> год.

## 9. Рекомендована література:

### 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. Збірник задач з квантової механіки, - Київ, Видавництво КНУШ, 2020.
8. Кобушкін О. П., Кривенко-Еметов Я.Д. Збірник задач з квантової механіки [Електронний ресурс]:– Київ : КПІ, 2019.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32135>.
9. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Збірник задач з квантової механіки: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003.