

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра теоретичної фізики**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Декан фізичного факультету \_\_\_\_\_ /Лазур В.Ю./  
«30» \_\_\_\_\_ 2022 року



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**КВАНТОВА МЕХАНІКА**

Рівень вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика та астрономія
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	українська

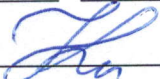
**Ужгород 2022**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантова механіка**» для здобувачів вищої освіти галузі знань **10 Природничі науки** спеціальності **104 Фізика та астрономія** освітньої програми **Фізика та астрономія**.

**Розробники:** Лазур В.Ю. – доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри теоретичної фізики,  
Рубіш В.В. – кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри  
*теоретичної фізики*

протокол № 11 від «23» 06 2022 р.

Завідувач кафедри  Карбованець М.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 10 від «30» 06 2022 р.

Голова науково-методичної комісії  Карбованець М.І.

© Лазур В.Ю., Рубіш В.В., 2022 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2022 р.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	
Кількість кредитів ЄКТС – 8	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 240	3-й та 4-й	
Кількість модулів – 4	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4/3,1 самостійної роботи студента – 4/2,2	6-й	7-й
	Лекції:	
	32	34
	Практичні (семінарські):	
	28	18
Вид підсумкового контролю: екзамен	Лабораторні:	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	60	38

## 2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Метою** вивчення навчальної дисципліни «Квантова механіка» є: ознайомлення студентів спеціальності «104 Фізика та астрономія» з фізичними основами та математичним апаратом квантової механіки; формування у студентів знань і умінь застосування методів квантової механіки для розв'язування задач сучасної фізики та астрономії; формування сучасного наукового світогляду.

Належний рівень засвоєння даного курсу є передумовою успішного вивчення наступних курсів теоретичної фізики – «Теорії атомних зіткнень», «Основ релятивістської квантової теорії поля» і т.д.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

КК – здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

К 01 – здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

К 02 – здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

К 03 – навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;

К 16 – знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії;

К 17 – здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів;

К 20 – здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем;

К 21 – здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси;

К 24 – здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації;

К 25 – здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей;

К 28 – орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук;

К 29 – здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

## 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика» є опанування таких навчальних дисциплін освітньої програми:

ОК 5 Механіка з елементами теорії відносності;

ОК 6 Термодинаміка і молекулярна фізика;

ОК 7 Електрика і магнетизм;

ОК 12 Математичний аналіз;

ОК 13 Аналітична геометрія і вища алгебра;

ОК 14 Диференціальні та інтегральні рівняння;

ОК 15 Теоретична механіка.

#### 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Фізика та астрономія», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

<b>Очікувані результати навчання з дисципліни</b>	<b>Шифр ПРН</b>
Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.	ПР 01
Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.	ПР 02
Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.	ПР 04
Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	ПР 05
Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.	ПР 06
Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.	ПР 11
Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.	ПР 23

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Квантова механіка»:

<b>Очікувані результати навчання з дисципліни</b>	<b>Шифр ПРН</b>
Знати та вміти застосовувати фізичні принципи та математичний апарат квантової механіки до аналізу фізичних процесів, що протікають у квантових системах.	ПР 01
Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ та астрономічних об'єктів з точки зору квантової механіки.	ПР 02
Вміти застосовувати основні результати теорії диференціального та інтегрального числення функції однієї та багатьох змінних, теорії диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, теорії лінійних операторів у гільбертовому просторі.	ПР 04
Знати основні фундаментальні та філософські проблеми квантової механіки.	ПР 05
Оцінювати вплив новітніх відкриттів у галузі квантової фізики на розвиток сучасної фізики та астрономії.	ПР 06
Вміти будувати математичні моделі фізичних явищ та проводити їх дослідження методами квантової механіки; давати якісну фізичну інтерпретацію результатів експериментальних досліджень квантових систем.	ПР 11
Розуміти історію та знати основні етапи становлення квантової механіки.	ПР 23

## 5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

### Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- модульний контроль,
- підсумковий контроль,
- залік, екзамен.

#### Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: поточне оцінювання та виконання модульної контрольної роботи у письмовій формі, сумарний результати яких оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: екзамен. До екзамену допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

#### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	80	100
5	5	5	5		

#### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Модульна контрольна робота	Сума
T5	T6	T7	80	100
7	7	6		

#### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 3)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Модульна контрольна робота	Сума
T8	T9	T10	80	100
7	7	6		

## Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 4)

<b>Поточне оцінювання та самостійна робота</b>			<b>Модульна контрольна робота</b>	<b>Сума</b>
<b>T11</b>	<b>T12</b>	<b>T13</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>		

### Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

<b>Вид діяльності здобувача вищої освіти</b>	<b>Модуль 1</b>		<b>Модуль 2</b>		<b>Модуль 3</b>		<b>Модуль 4</b>	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Письмове тестування при тематичному оцінюванні	1	20	1	20	1	20	1	20
Модульна контрольна робота	1	80	1	80	1	80	1	80
<b>Разом</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>100</b>

### Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

При оцінюванні знань враховується в першу чергу повнота, правильність і вичерпність відповідей на поставлені в модульних контрольних роботах запитання. Оцінка виставляється за 100-бальною шкалою та національною 5-бальною шкалою. Відомість результатів оформлюється за системою ECTS.

Оцінка «відмінно» виставляється, якщо під час проведення контролю було виявлено:

1. Наявність у студента всебічних, повних, глибоких інтегрованих знань програмового матеріалу, вміння вільно виконувати завдання запропонованого варіанту.
2. Вміння студента в письмовій та усній формі чітко, вичерпно і правильно викласти відповіді на питання запропонованого варіанту.
3. Глибоке розуміння студентом взаємозв'язку головних понять і положень предмета, розуміння значення цих положень і понять для майбутньої професії.
4. Високий рівень підготовленості студента з питань курсу до подальшої роботи над вдосконаленням рівня своєї професійної кваліфікації.

У відповідях студентів не має бути значних помилок. Відмінно виконана робота демонструє наявність у студента творчих здібностей.

Оцінка «добре» виставляється, коли студент письмово відповів на всі запитання, засвоїв всю навчальну програму курсу. У відповідях, які оцінені на «добре», можлива не більш як одна незначна помилка або виявлено декілька неточностей. Студент спроможний з допомогою літератури ліквідувати всі недоліки у відповідях.

Оцінка «задовільно» виставляється, коли студент дав відповіді на питання всіх завдань, але при цьому можуть проявитися певні прогалини у засвоєнні програми курсу. У відповідях, які оцінені на «задовільно», можуть зустрітися не більше як одна груба помилка або декілька значних та істотних неточностей.

Оцінка «незадовільно» виставляється за роботу, яка засвідчує про наявність у студента великих та суттєвих прогалин у знаннях основного матеріалу курсу, а у наявних його письмових відповідях є як принципові, так і грубі помилки. Студенти, які не представили письмові відповіді на модульних контрольних роботах, вважаються такими, що одержали оцінку «незадовільно».

## Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Квантова механіка» здійснюється у формі екзамену.

Екзамен проводиться в усній формі. Оцінка виставляється за 100-бальною шкалою та національною 4-бальною шкалою. Відомість результатів оформлюється за системою ECTS.

Оцінка «відмінно» виставляється, якщо під час проведення екзамену було виявлено:

1. Наявність у студента всебічних, повних, глибоких інтегрованих знань програмового матеріалу, вміння вільно виконувати завдання запропонованого варіанту.
2. Вміння студента в письмовій та усній формі чітко, вичерпно і правильно викласти відповіді на питання запропонованого варіанту.
3. Глибоке розуміння студентом взаємозв'язку головних понять і положень предмета, розуміння значення цих положень і понять для майбутньої професії.
4. Високий рівень підготовленості студента з питань курсу до подальшої роботи над вдосконаленням рівня своєї професійної кваліфікації.

У відповідях студентів не має бути значних помилок. Відмінно виконана робота демонструє наявність у студента творчих здібностей.

Оцінка «добре» виставляється, коли студент відповів на всі запитання, засвоїв всю навчальну програму курсу. У відповідях, які оцінені на «добре», можлива не більш як одна незначна помилка або виявлено декілька неточностей. Студент спроможний з допомогою літератури ліквідувати всі недоліки у відповідях.

Оцінка «задовільно» виставляється, коли студент дав відповіді на питання всіх завдань, але при цьому можуть проявитися певні прогалини у засвоєнні програми курсу. У відповідях, які оцінені на «задовільно», можуть зустрітися не більше як одна груба помилка або декілька значних та істотних неточностей.

Оцінка «незадовільно» виставляється за відповідь, яка засвідчує про наявність у студента великих та суттєвих прогалин у знаннях основного матеріалу курсу, а у наявних його відповідях є як принципові, так і грубі помилки.

Переведення результатів, отриманих за національною 4-х бальною шкалою у 100-бальну шкалу оцінювання в та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		Екзамен та диференційований залік	Залік
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	Зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
74-81	<b>C</b>		
64-73	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	Не зараховано
0-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незараховано» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни і скласти екзамен.

Результати підсумкового контролю знань заносяться до екзаменаційної відомості.

## 6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 6.1. Зміст навчальної дисципліни

#### СЕМЕСТР 6

##### Модуль 1

Тема 1. Історія та передумови виникнення квантової механіки.

Передумови виникнення квантової механіки. Гіпотези Планка та Ейнштейна. Модель атома по Бору. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Фотоэффект. Ефект Комптона. Гіпотеза де-Бройля. Експерименти Франка-Герца та Девісона-Джермера.

Тема 2. Основні принципи квантової механіки.

Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція. Принцип суперпозиції станів. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки. Середні значення координати та імпульсу. Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.

Тема 3. Математичний апарат квантової механіки.

Оператори фізичних величин. Власні функції і власні значення операторів та їх фізична інтерпретація. Властивості власних функцій і власних значень ермітових операторів. Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутуючими операторами. Різні представлення станів квантових систем. Бра- і кет-вектори. Різні представлення операторів. Матриці операторів.

Тема 4. Рівняння Шредінгера.

Хвильове рівняння Шредінгера. Закон збереження ймовірності. Рівняння неперервності. Зміна середніх значень фізичних величин із часом. Квантові дужки Пуассона. Стаціонарні стани. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга.

##### Модуль 2

Тема 5. Модельні задачі квантової механіки.

Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі з безмежно високими стінками. Лінійний гармонічний осцилятор. Хвильовий підхід. Лінійний гармонічний осцилятор. Метод операторів породження та знищення. Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр. Холодна емісія електронів з металу.

Тема 6. Зв'язок квантової механіки з класичною механікою.

Перехід від квантових рівнянь руху до класичних. Хвильова функція у квазікласичному наближенні. Метод Вентцеля-Крамєра-Бріллюєна. Правило квантування Бора-Зоммерфельда.

Тема 7. Момент кількості руху у квантовій механіці.

Оператор повороту і момент кількості руху. Власні функції операторів квадрата й проекцій орбітального моменту кількості руху. Векторне додавання двох моментів кількості руху. Спін. Матриці операторів повороту для  $j = 1$ . Квантове обертання твердого тіла.

#### СЕМЕСТР 7

##### Модуль 3

Тема 8. Рух частинки в центрально-симетричному полі.

Рух частинки в центрально-симетричному полі. Радіальне рівняння Шредінгера. Тривимірний ізотропний гармонічний осцилятор. Рух частинки у кулонівському полі. Атом водню: дискретний спектр, неперервний спектр. Інтеграл руху Лапласа-Рунге-Ленца.

Тема 9. Теорія збурень.

Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок. Умови застосовності теорії збурень. Теорія збурень у випадку виродження. Ефект Штарка в атомі водню. Застосування

варіаційного принципу до наближених розрахунків. Теорія збурень, залежних від часу. Імовірність квантового переходу за одиницю часу. Квантові переходи під дією раптових збурень.

Тема 10. Взаємодія атома з електромагнітним полем.

Квантові переходи під дією раптових збурень. Квантування вільного електромагнітного поля. Теорія випромінювання й поглинання світла. Електричне дипольне випромінювання. Правила відбору. Час життя збуджених станів атомів. Природна ширина спектральних ліній. Квантова теорія дисперсії світла. Елементарна теорія фотоефекту.

#### Модуль 4

Тема 11. Релятивістська квантова механіка.

Релятивістське рівняння для частинки зі спіном 0. Рівняння Клейна-Гордона-Фока. Релятивістське рівняння Дірака. Матриці Дірака. Рівняння неперервності. Момент кількості руху в теорії Дірака. Вільний рух релятивістської частинки. Сферичний спінор. Релятивістські поправки до руху електрона у електромагнітному полі. Рівняння Паулі. Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака. Спін-орбітальна взаємодія. Точні розв'язки рівняння Дірака для кулонівського поля. Атом водню з урахуванням релятивістських поправок. Атом у зовнішньому магнітному полі.

Тема 12. Квантова механіка систем, що складаються з однакових частинок.

Принцип тотожності частинок у квантовій механіці. Симетричні і антисиметричні хвильові функції. Теорія атома гелію. Орто- і парагелій. Від'ємний іон водню. Метод самоузгодженого поля Хартрі-Фока. Статистичний метод Томаса-Фермі. Молекули. Адіабатичне наближення. Хімічний зв'язок. Сили Ван дер Ваальса.

Тема 13. Квантова теорія розсіяння.

Пружне розсіяння частинок без спіну. Амплітуда розсіяння. Борнівське наближення. Розсіяння електронів на атомі. Метод парціальних хвиль. Теорія непружного розсіяння.

### 6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання:					
	Усього	у тому числі				
лекції		практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота	
<b>6-й семестр</b>						
<b>Модуль 1</b>						
Тема 1. Історія та передумови виникнення квантової механіки.	14	4	2			8
Тема 2. Основні принципи квантової механіки.	16	4	2			10
Тема 3. Математичний апарат квантової механіки.	20	6	6			8
Тема 4. Рівняння Шредингера.	16	4	2			10
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	67	18	13			36
<b>Модуль 2</b>						
Тема 5. Модельні задачі квантової механіки.	20	6	6			8

Тема 6. Зв'язок квантової механіки з класичною механікою.	16	4	4			8
Тема 7. Момент кількості руху у квантовій механіці.	16	4	4			8
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	53	14	15	0	0	24
<b>Разом за семестр</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>60</b>
7-й семестр						
<b>Модуль 3</b>						
Тема 8. Рух частинки в центральносиметричному полі.	16	6	4			6
Тема 9. Теорія збурень.	16	6	4			6
Тема 10. Взаємодія атома з електромагнітним полем.	16	6	2			8
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	49	18	11	0	0	20
<b>Модуль 4</b>						
Тема 11. Релятивістська квантова механіка.	14	6	2			6
Тема 12. Квантова механіка систем, що складаються з однакових частинок.	14	6	2			6
Тема 13. Квантова теорія розсіяння.	12	4	2			6
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	41	16	7	0	0	18
<b>Разом за семестр</b>	<b>90</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>38</b>
<b>Разом за рік</b>	<b>210</b>	<b>66</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>98</b>

### 6.3. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		денна
Семестр 6		
1	Передумови виникнення квантової механіки.	2
2	Основні принципи квантової механіки. Фізичний зміст хвильової функції.	2
3	Оператори фізичних величин. Лінійні операції над операторами. Комутатори.	4
4	Власні функції і власні значення операторів їх властивості та фізична інтерпретація.	2
5	Одновимірне рівняння Шредінгера та його розв'язки для вільної частинки.	2
6	Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі з безмежно високими стінками.	4
7	Лінійний гармонічний осцилятор.	2
8	Правило квантування Бора-Зоммерфельда для гармонічного осцилятора.	4
9	Власні функції операторів квадрата й проекцій орбітального моменту кількості руху.	4
Модульні контрольні роботи		2
<b>Разом за семестр 6</b>		<b>28</b>

Семестр 7		
10	Рух частинки в центрально-симетричному полі. Радіальне рівняння Шредінгера.	2
11	Атом водню.	2
12	Теорія збурень. Ефект Штарка в атомі водню.	4
13	Елементарна теорія фотоєфекту.	2
14	Точні розв'язки рівняння Дірака для кулонівського поля. Атом водню з урахуванням релятивістських поправок.	2
15	Теорія атома гелію. Орто- і парагелій.	2
16	Амплітуда розсіяння. Борнівське наближення.	2
Модульні контрольні роботи		2
<b>Разом за семестр 7</b>		<b>18</b>
<b>Разом за рік</b>		<b>46</b>

#### 6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		денна
Семестр 6		
1	Недоліки класичної фізичної теорії.	8
2	Опис стану в квантовій механіці.	10
3	Бра- і кет-вектори. Різні представлення операторів. Матриці операторів.	8
4	Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга.	10
5	Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр. Холодна емісія електронів з металу.	8
6	Умови застосовності квазікласичного наближення.	8
7	Квантове обертання твердого тіла.	8
Разом за семестр 6		60
Семестр 7		
8	Атом водню. Інтеграл руху Лапласа-Рунге-Ленца.	6
9	Квантові переходи під дією раптових збурень.	6
10	Квантова теорія дисперсії світла.	8
11	Атом у зовнішньому магнітному полі.	6
12	Хімічний зв'язок. Сили Ван дер Ваальса.	6
13	Теорія непружного розсіяння.	6
Разом за семестр 7		38
<b>Разом за рік</b>		<b>98</b>

#### 7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проектор, інтерактивна дошка.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки, планшети, веб-камери.

Програмне забезпечення: Microsoft Office.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет.

## 8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основна література

1. Вакарчук І.О. Квантова механіка. – Львів.: ЛДУ ім. І. Франка, 2004. – 784 с.
2. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки: Навч. пос. для студ. фізичн. спец. вищ. навч. закл. – Київ: Либідь. 2002. – 390 с.
3. Давидов О.С. Квантова механіка: Підручник. – Київ: Електронне видання, 2013. – 708 с.  
URL: [http://bitp.kiev.ua/files/doc/lectures/davydov\\_qm.pdf](http://bitp.kiev.ua/files/doc/lectures/davydov_qm.pdf)
4. Висоцький В.І. Квантова механіка та її використання в прикладній фізиці: Підручник. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 367 с.
5. Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. The Feynman Lectures on Physics, Vol. III: Quantum Mechanics. – New York: Basic Books, 2010. – 688 p.

### Допоміжна література

1. Ткачук В. М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. – 144 с.
2. Griffiths D.J., Schroeter D.F. Introduction to quantum mechanics. Third edition – New York: Cambridge University Press, 2018. – 644 p.
3. Miller David A. B. Quantum Mechanics for Scientists and Engineers. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 552 p.
4. Sakurai J.J., Napolitano J.J. Modern Quantum Mechanics. 2nd Edition. – Boston: Addison-Wesley, 2011. – 500 p.
5. Schiff, L.I. Quantum Mechanics. 3rd Edition. – New York: McGraw-Hill, 1968. – 306 p.

### Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. Карбованець М.І., Лазур В.Ю., Нодь Є.А. Практикум з квантової механіки. Практикум. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2022. – 97 с.  
URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/45786>

**Результати перегляду  
робочої програми навчальної дисципліни**

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_\_ / 20\_\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_).  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_\_ / 20\_\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_).  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_\_ / 20\_\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_).  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_\_ / 20\_\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_).  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) (Прізвище ініціали)