

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



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Дека́н фізичного факультету
Володимир ЛАЗУР
«30» серпня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВА МЕХАНІКА

Рівень вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність	014 Середня освіта
Предметна спеціальність	014.08 Середня освіта (Фізика)
Освітня програма	Фізика. Інформатика
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	українська

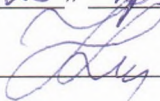
Ужгород 2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Квантова механіка» для здобувачів вищої освіти галузі знань **01 Освіта/Педагогіка** спеціальності **014 Середня освіта** предметної спеціальності **014.08 Середня освіта (Фізика)** освітньої програми **Фізика. Інформатика**.

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

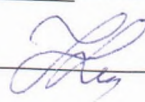
Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри
теоретичної фізики

протокол № 10 від «25» травня 2023 р.

Завідувач кафедри  Мирослав КАРБОВАНЕЦЬ

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 10 від «28» серпня 2023 р.

Голова науково-методичної комісії  Мирослав КАРБОВАНЕЦЬ

© Лазур В.Ю., Рубіш В.В., 2023 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2023 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	
Кількість кредитів ЄКТС – 7,5	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 225	3-й та 4-й	
Кількість модулів – 4	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4/3 самостійної роботи студента – 4/3	6-й	7-й
	Лекції:	
	32	32
	Практичні (семінарські):	
	28	20
Вид підсумкового контролю: залік, екзамен	Лабораторні:	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	60	53

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Квантова механіка» є ознайомлення студентів освітньої програми «Фізика. Інформатика» 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; підготовка майбутніх вчителів фізики до професійної діяльності шляхом формування в них критичного мислення та цілісного наукового світогляду.

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

ІК – бути здатними ефективно працювати в трьох областях (педагогіка, психологія, фізика та інформатика), що перетинаються; працювати з інформацією і знаннями з освітніх проблем; працювати із своїми колегами, учнями, практикантами, іншими колегами та партнерами в освіті, що включає в себе здатність аналізувати складні ситуації, що стосуються навчання фізики та інформатики; робота із спільнотою – на місцевому, регіональному, національному рівнях, включаючи розвиток відповідних професійних цінностей і здатності осмислювати результати навчання;

ЗК 1 – використовуючи основні досягнення української та світової культури, уміти аналізувати минулі й сучасні надбання культури, проблеми й тенденції розвитку України та світового суспільства;

ЗК 2 – досягнення необхідних знань і розуміння ролі фізики та інформатики в суспільстві з метою адекватної роботи за майбутніми професіями та врахування її впливу на соціальні проблеми;

ФК 1 – здатність ефективно застосовувати методи і прийоми педагогіки та психології при навчанні фізики в загальноосвітніх навчальних закладах;

ФК 2 – володіти глибокими знаннями фундаментальних фізичних законів, явищ і процесів на всіх структурних рівнях організації матерії;

ФК 7 – здатність використовувати теоретичні знання й практичні навички організації та проведення науково-педагогічних досліджень для здійснення навчально-виховного процесу у загальноосвітній школі;

ФК 9 – здатність розвивати науковий світогляд учнів, формувати їх методологічну культуру та використовувати культурні надбання українського народу в процесі освітньої діяльності

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Квантова механіка» є опанування таких навчальних дисциплін освітньої програми:

- ОК 5 Математичний аналіз;
- ОК 6 Аналітична геометрія і вища алгебра;
- ОК 8 Фізичні основи механіки;
- ОК 9 Молекулярна фізика;
- ОК 10 Електрика і магнетизм;
- ОК 15 Теоретична механіка;

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «014.08 Середня освіта. Фізика», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знати основи наукових досліджень, педагогічної майстерності, методики розвитку особистості учня, студента.	ПР 1
Знати математичні методи аналізу та опису процесів і систем.	ПР 5
Знати методику викладання фізичних та інформаційних дисциплін, методику виховної роботи, інноваційні та інформаційно-комунікаційні технології навчання.	ПР 6
Володіти комп'ютерними методами аналізу та обробки інформації і використовувати ці результати у професійній діяльності.	ПР 17
Вивчення, аналіз, узагальнення та поширення передового педагогічного досвіду, систематичне підвищення професійної кваліфікації.	ПР 22

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

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
Розуміє методологію наукового пізнання, знає та вміє застосовувати фізичні принципи та математичний апарат квантової механіки до аналізу фізичних процесів, що протікають у квантових системах, вміє просто і зрозуміло пояснювати складні квантово-механічні концепції, використовує аналогії і моделі при поясненні квантових явищ, постійно працює над розвитком критичного мислення учнів.	ПР 01
Вміє 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 5
Володіє методикою викладання квантової фізики в закладах загальної середньої освіти, методикою виховної роботи на уроках фізики, спрямованої на формування наукового світогляду учнів та розвиток їх логічного мислення, використовує комп'ютерне моделювання для симуляції квантових явищ.	ПР 6
Вміє будувати прості моделі фізичних явищ з використанням комп'ютерних методів аналізу та обробки інформації і давати на основі них якісну фізичну інтерпретацію результатів експериментальних досліджень квантових систем.	ПР 17
Постійно підвищує свою професійну кваліфікацію з метою впровадження нових педагогічних методик на уроках фізики.	ПР 22

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: залік та екзамен. До До заліку або 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)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Модульна контрольна робота	Сума
T11	T12	T13	80	100
7	7	6		

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3		Модуль 4	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Письмова перевірка знань при тематичному оцінюванні	1	20	1	20	1	20	1	20
Модульна контрольна робота	1	80	1	80	1	80	1	80
Разом	2	100	2	100	2	100	2	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

При оцінюванні знань враховується в першу чергу повнота, правильність і вичерпність відповідей на поставлені в модульних контрольних роботах запитаннях. Максимальна кількість балів, що виставляється здобувачу вищої освіти за виконання контрольної роботи складає 80 балів.

71 – 80 балів виставляється, якщо під час проведення контролю було виявлено:

наявність у студента всебічних, повних, глибоких інтегрованих знань програмового матеріалу, вміння вільно виконувати завдання запропонованого варіанту;

вміння студента в письмовій та усній формі чітко, вичерпно і правильно викласти відповіді на питання запропонованого варіанту;

глибоке розуміння студентом взаємозв'язку головних понять і положень предмета, розуміння значення цих положень і понять для майбутньої професії;

високий рівень підготовленості студента з питань курсу до подальшої роботи над вдосконаленням рівня своєї професійної кваліфікації.

У відповідях студентів не має бути значних помилок. Робота виконана на 80 балів демонструє наявність у студента творчих здібностей.

61 – 70 балів виставляється, коли студент письмово відповів на всі запитання, засвоїв всю навчальну програму відповідного модуля. У відповідях можлива не більш як одна незначна помилка або виявлено декілька неточностей.

31 – 60 балів виставляється, коли студент дав відповіді на питання всіх завдань, але при цьому можуть проявитися певні прогалини у засвоєнні програми модуля. У відповідях можуть зустрітися не більше як одна груба помилка або декілька значних та істотних неточностей.

0 – 30 балів виставляється за роботу, яка засвідчує про наявність у студента великих та суттєвих прогалин у знаннях основного матеріалу модуля, а у наявних його письмових відповідях є як принципи, так і грубі помилки. Студенти, які не представили письмові відповіді на модульних контрольних роботах, або не з'явилися на модульну контрольну роботу вважаються такими, що одержали 0 балів незалежно від причини невиконання (неявки).

Сумарна оцінка (від 0 до 100 балів) за модуль виставляється у відомість модульного контролю. Модуль зараховується, якщо сумарний бал складає не менше 60 балів, і виконані та зараховані всі завдання, які є складовими модуля.

Здобувач, який не з'явився на модульну контрольну роботу, або ж його модульна оцінка складає від 0 до 34 балів, повинен до проведення підсумкового семестрового контролю покращити цю оцінку принаймні до показника не менше 35 балів у строки, визначені викладачем дисципліни. Без такого покращення він до семестрового контролю не допускається.

Підсумкова модульна оцінка з даної навчальної дисципліни визначається як середнє арифметичне результатів двох модульних контролів та виставляється у відомість модульного контролю за 100-бальною шкалою, шкалою ЄКТС та національною шкалою (див. табл. «Шкала оцінювання: національна та ECTS»).

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

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

Залік та 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	A	відмінно	Зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	Не зараховано
0-34	F	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 (залікової) 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	
6-й семестр						
Модуль 1						
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 Шредінгера.	16	4	2			10
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	67	18	13			36
Модуль 2						
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
Разом за семестр	120	32	28	0	0	60
7-й семестр						
Модуль 3						
Тема 8. Рух частинки в центральносиметричному полі.	18	4	6			8
Тема 9. Теорія збурень.	18	6	4			8
Тема 10. Взаємодія атома з електромагнітним полем.	18	6	2			10
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	55	16	13	0	0	26
Модуль 4						
Тема 11. Релятивістська квантова механіка.	17	6	2			9
Тема 12. Квантова механіка систем, що складаються з однакових частинок.	17	6	2			9
Тема 13. Квантова теорія розсіяння.	15	4	2			9
Модульна контрольна робота	1		1			
Разом за модуль	50	16	7	0	0	27
Разом за семестр	105	32	20	0	0	53
Разом за рік	225	64	48	0	0	113

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
Разом за семестр 6		28

Семестр 7		
10	Рух частинки в центральній-симетричному полі. Радіальне рівняння Шредінгера.	4
11	Атом водню.	2
12	Теорія збурень. Ефект Штарка в атомі водню.	4
13	Елементарна теорія фотоефекту.	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
Разом за семестр 7		20
Разом за рік		46

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.	8
9	Квантові переходи під дією раптових збурень.	8
10	Квантова теорія дисперсії світла.	10
11	Атом у зовнішньому магнітному полі.	9
12	Хімічний зв'язок. Сили Ван дер Ваальса.	9
13	Теорія непружного розсіяння.	9
Разом за семестр 7		53
Разом за рік		98

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

Технічні засоби: Мультимедійний проектор Epson EB-X05 з екраном EliteScreens.

Обладнання: Ноутбук Lenovo V15-ADA (AMD Ryzen 3, RAM 8GB, SSD 256GB).

Програмне забезпечення: Windows 10.

Інформаційні технології та засоби онлайн навчання: система електронного навчання Moodle

<https://moodle.uzhnu.edu.ua>, корпоративна електронна пошта УжНУ;

електронний репозитарій ДВНЗ «УжНУ» <https://dSPACE.uzhnu.edu.ua>,

сайт УжНУ <https://www.uzhnu.edu.ua>, інформаційні ресурси в мережі Інтернет.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Вакарчук І.О. Квантова фізика: підручник для студ. вищ. навч. закл. Вид. 4-те, допов. – Львів.: ЛДУ ім. І. Франка, 2012. – 870 с.
2. Бродин О.М. Теоретична фізика. Квантова механіка: навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 233 с.
3. 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>
4. Висоцький В.І., Максютя М.В., Ястремський І.О. Збірник задач із квантової механіки: навчальний посібник. – Київ: Київський університет, 2019. – 287 с.
5. Давидов О.С. Квантова фізика: Підручник. – Київ: Електронне видання, 2013. – 708 с.
URL: http://bitp.kiev.ua/files/doc/lectures/davydov_qm.pdf
6. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки: Навч. пос. для студ. фізичн. спец. вищ. навч. закл. – Київ: Либідь. 2002. – 390 с.
7. Висоцький В.І. Квантова фізика та її використання в прикладній фізиці: підручник. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 367 с.
8. 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.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. Quantum Mechanics. URL: https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Quantum_Mechanics

**Результати перегляду
робочої програми навчальної дисципліни**

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібно підкреслити)

протокол № ___ від « ___ » _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібно підкреслити)

протокол № ___ від « ___ » _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібно підкреслити)

протокол № ___ від « ___ » _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____
(підпис) (Прізвище ініціали)

Робоча програма перезатверджена на 20___ / 20___ н.р. без змін; зі змінами (Додаток ___).
(потрібно підкреслити)

протокол № ___ від « ___ » _____ 20 ___ р. Завідувач кафедри _____
(підпис) (Прізвище ініціали)