

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



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Дека́н фізичного факультету
проф. В.Ю. Лазур
«30» червня 2021 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Теорія атомних зіткнень»

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітня програма	«Фізика та астрономія»
Статус дисципліни	вибіркова
Мова навчання	українська

Ужгород 2021

Робоча програма навчальної дисципліни «Теорія атомних зіткнень» для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 Природничі науки спеціальності 104 Фізика та астрономія освітньої програми «Фізика та астрономія».

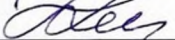
Розробники:

Карбованець М.І., завідувач кафедри теоретичної фізики, к.ф.-м.н., доцент.

Робочу програму розглянуто та затверджено

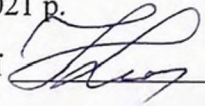
на засіданні кафедри теоретичної фізики

протокол № 11 від «16» червня 2021 р.

Завідувач кафедри  Карбованець М.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 10 від «30» червня 2021 р.

Голова науково-методичної комісії  Карбованець М.І.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 4	Рік підготовки: 4-й	
Загальна кількість годин – 120	120	-
Кількість модулів – 2 Тижневих годин – 3 для денної форми навчання: аудиторних – 60 самостійної роботи студента – 60	Семестр:	
	7-й	
	Лекції:	
	30	-
	Практичні (семінарські):	
	30	-
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні:	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	60	-

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Теорія атомних зіткнень» є формування у здобувачів цілісної, логічно несуперечливої картини фізичних явищ, що мають місце при розсіянні атомних частинок, їх зіткненнях і взаємодіях.

Завданням навчальної дисципліни «Теорія атомних зіткнень» є поглиблення у здобувачів знання математичного апарату та основних фізичних концепцій сучасної фізики атомних зіткнень для здійснення майбутньої науково-дослідницької діяльності.

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

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

K20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

K21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

K25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Теорія атомних зіткнень» є вибірковою і належить до варіативної частини ОНП за напрямком підготовки.

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Теорія атомних зіткнень» є опанування таких навчальних дисциплін (НД) освітньої програми: «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Методи математичної фізики», «Теоретична механіка», «Електродинаміка», «Квантова механіка», «Термодинаміка і статистична фізика».

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

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

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
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.	ПР01
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.	ПР04
Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.	ПР06
Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.	ПР09
Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.	ПР16

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Теорія атомних зіткнень»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
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.	ПР01
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.	ПР04
Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.	ПР06
Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.	ПР09
Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.	ПР16

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.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркоче усне опитування перед початком занять;
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- тестування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої 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	50	100
12	13	12	13		

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

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T5	T6	T7	T8	50	100
12	13	12	13		

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Письмове тестування при тематичному оцінюванні	2	50	2	50
Модульна контрольна робота	1	50	1	50
Разом	3	100	3	100

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 «Вища математика з основами математичної статистики» здійснюється у формі екзамену.

Екзамен проводиться в усній формі. Результати екзамену оцінюються за такою шкалою:

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	

За бажанням студента результуюча підсумкова екзаменаційна оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

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

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (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

Модуль 1

Тема 1. Основні теоретичні методи фізики атомних зіткнень. Квантово-механічна задача двох кулонівських центрів. Кореляційні діаграми спектрів. Метод сильного зв'язку в базисі молекулярних функцій. Метод сильного зв'язку в базисі атомних функцій. Адіабатичний та діабатичний підходи для опису атомних зіткнень. Проблема діабатизації електронних станів.

Тема 2. Теорія розсіяння в системі трьох тіл. Загальна теорія розсіяння. S-матриця. Рівняння Ліппмана-Швінгера. Проблеми теорії розсіяння з перегрупуванням частинок. Метод Фаддєєва.

Тема 3. Низькоенергетичні іон-атомні зіткнення. Зіткнення при малих швидкостях відносного руху важких частинок. Адіабатичне наближення. Аналітичні методи в теорії атомних зіткнень. Наближення двох станів та його багатоканальне узагальнення. Асимптотична теорія атомних зіткнень. Одноелектронна перезарядка при іон-атомних зіткненнях. Метод поверхневих інтегралів. Особливості зарядово-обмінних реакцій за участю багатозарядних іонів. Багатоелектронні процеси при іон-атомних зіткненнях.

Тема 4. Повільні зіткнення молекул з атомними та молекулярними іонами. Резонансна та нерезонансна одноелектронна перезарядка при зіткненнях молекул з атомними іонами та катіонами. Двоелектронні процеси: двоелектронне захоплення, дисоціативне та недисоціативне одноелектронне захоплення. Процеси з перерозподілом за участю дипольно-зв'язаних аніонів (ДЗА).

Модуль 2

Тема 5. Іон-атомні (молекулярні) зіткнення при середніх швидкостях відносного руху. Специфіка атомних зіткнень в проміжній області відносних швидкостей. Багатоканальна задача про перезарядку на основі базису одноцентрових хвильових функцій. Метод класичних траєкторій Монте-Карло.

Тема 6. Іон-атомні та іон-молекулярні зіткнення при високих швидкостях відносного руху. Наближення Оппенгеймера-Брінкмана-Крамерса. Ейкональне наближення. Методи спотворених хвиль неперервного спектру (CDW).

Врахування ефектів багатократного перерозсіання електрона. Інтегральні рівняння Додда-Грайдера для квантово-механічного оператора розсіання з перебудовою в системі декількох заряджених частинок.

Тема 7. Розпади та іонізація атомних частинок. Розпадна модель. Одно- і двоелектронний розпад від'ємного іона та ДЗА в постійному однорідному електричному полі. Оже-процеси при атомних зіткненнях. Ефект Пеннінга.

Тема 8. Врахування релятивістських ефектів. Релятивістський оператор взаємодії двох квазімолекулярних електронів з урахуванням ефектів запізнення. Матричні елементи взаємодії двох квазімолекулярних електронів із зовнішнім полем випромінювання. Імовірності непружних процесів з перерозподілом при повільних зіткненнях багатозарядних іонів з релятивістськими атомами.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання: денна					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
7-й семестр						
Модуль 1						
<i>Тема 1.</i> Основні теоретичні методи фізики атомних зіткнень. Квантово-механічна задача двох кулонівських центрів. Кореляційні діаграми спектрів. Метод сильного зв'язку в базисі молекулярних функцій. Метод сильного зв'язку в базисі атомних функцій. Адіабатичний та діабатичний підходи для опису атомних зіткнень. Проблема діабатизації електронних станів.	16	4	4			8
<i>Тема 2.</i> Теорія розсіяння в системі трьох тіл. Загальна теорія розсіяння. S-матриця. Рівняння Ліппмана-Швінгера. Проблеми теорії розсіяння з перегрупуванням частинок. Метод Фаддєєва.	16	4	4			8
<i>Тема 3.</i> Низькоенергетичні іон-атомні зіткнення. Зіткнення при малих швидкостях відносного руху важких частинок. Адіабатичне наближення. Аналітичні методи в теорії атомних зіткнень. Наближення двох станів та його багатоканальне узагальнення. Асимптотична теорія атомних зіткнень. Одноелектронна перезарядка при іон-атомних зіткненнях. Метод поверхневих інтегралів. Особливості зарядово-обмінних реакцій за участю багатозарядних іонів. Багатоелектронні процеси при іон-атомних зіткненнях.	15	4	4			7
<i>Тема 4.</i> Повільні зіткнення молекул з атомними та молекулярними іонами. Резонансна та нерезонансна одноелектронна перезарядка при зіткненнях молекул з атомними іонами та катіонами. Двоелектронні	15	4	4			7

процеси: двоелектронне захоплення, дисоціативне та недисоціативне одноелектронне захоплення. Процеси з перерозподілом за участю дипольно-зв'язаних аніонів (ДЗА).						
Модульна контрольна робота						
Разом за модуль	62	16	16			30
Модуль 2						
<i>Тема 5.</i> Іон-атомні (молекулярні) зіткнення при середніх швидкостях відносного руху. Специфіка атомних зіткнень в проміжній області відносних швидкостей. Багатоканальна задача про перезарядку на основі базису одноцентрових хвильових функцій. Метод класичних траєкторій Монте-Карло.	16	4	4			8
<i>Тема 6.</i> Іон-атомні та іон-молекулярні зіткнення при високих швидкостях відносного руху. Наближення Оппенгеймера-Брінкмана-Крамерса. Ейкональне наближення. Методи спотворених хвиль неперервного спектру (CDW). Врахування ефектів багатократного перерозсіяння електрона. Інтегральні рівняння Додда-Грайдера для квантово-механічного оператора розсіяння з перебудовою в системі декількох заряджених частинок.	16	4	4			8
<i>Тема 7.</i> Розпади та іонізація атомних частинок. Розпадна модель. Одно- і двоелектронний розпад від'ємного іона та ДЗА в постійному однорідному електричному полі. Оже-процеси при атомних зіткненнях. Ефект Пеннінга.	11	2	2			7
<i>Тема 8.</i> Врахування релятивістських ефектів. Релятивістський оператор взаємодії двох квазімолекулярних електронів з урахуванням ефектів запізнення. Матричні елементи взаємодії двох квазімолекулярних електронів із зовнішнім полем випромінювання. Імовірності непружних процесів з перерозподілом при повільних зіткненнях багатозарядних іонів з релятивістськими атомами.	15	4	4			7
Модульна контрольна робота						
Разом за модуль	58	14	14			30
Разом за семестр	120	30	30			60

6.3. Теми практичних (семінарських, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<i>Тема 1.</i> Сфероїдальні та кулонівські сфероїдальні функції. Квазікутові та квазірадіальні функції.	4
2	<i>Тема 2.</i> Квазікласична асимптотика парціального розкладу двоцентрової функції Гріна за дипольно-сферичними функціями.	4
3	<i>Тема 3.</i> Метод поверхневих інтегралів в теорії обмінної взаємодії. Обчислення одноелектронних обмінних матричних елементів.	4
4	<i>Тема 4.</i> Резонансна перезарядка полярної молекули на власному катіоні.	4
5	<i>Тема 5.</i> Нерезонансна двоелектронна перезарядка полярної молекули на багатозарядному іоні.	4
6	<i>Тема 6.</i> Квазікласичне наближення для амплітуди перезарядки. Роль двократного розсіяння електрона у процесі зіткнення. Пік Томаса.	4
7	<i>Тема 7.</i> Обчислення імовірності двоелектронного розпаду від'ємного іона гідрогену в постійному однорідному електричному полі.	2
8	<i>Тема 8.</i> Пеннінгівська іонізація неметастабільними атомами.	4
Разом		30

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Функція Гріна (ФГ) задачі двох однакових кулонівських центрів. Парціальний розклад ФГ за сфероїдальними функціями. Двоцентрова ФГ у границі об'єднаних атомів.	6
2	Рівняння Фаддеева для хвильової функції.	8
3	Метод поправкової функції (метод Ландау-Херрінга). Квазікласичний варіант асимптотичної теорії атомних зіткнень.	8
4	Вплив електронних кореляцій на динаміку двоелектронних іон-атомних процесів з перерозподілом.	8
5	Модель точкового диполя. Кулоно-дипольний потенціал. Дипольно-сферичні функції (ДСФ). Рекурентні співвідношення для коефіцієнтів розкладу ДСФ за сферичними функціями.	8
6	Квантово-механічна амплітуда в методі CDW.	8
7	Іонізація атома в електромагнітному полі. Теорія Келдиша.	6
8	Узагальнений оператор Брейта.	8
	Разом	60

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.

Тексти лекцій з дисципліни «Теорія атомних зіткнень».

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основні:

1. Bransden B. H. Charge Exchange and the Theory of Ion-Atom Collisions / B. H. Bransden, M. H. C. McDowell. – Oxford : Clarendon, 1992. – 488 p.
2. Lazur V.Yu. Distorted Wave Theories for one- and two-electron capture in fast atomic collisions / V.Yu. Lazur, M.V. Khoma // *Advances in Quantum Chemistry*. – 2013. – V. 65. – P. 363–405.
3. Лендъел В. И. Введение в теорию атомных столкновений / В. И. Лендъел, В. Ю. Лазур, М. И. Карбованец, Р. К. Янев. – Львов : Выща школа, 1989. – 192 с.
4. Мотт Н. Теория атомных столкновений / Н. Мотт, Г. Месси. – Москва : Мир, 1969. – 756 с.
5. Никитин Е. Е. Неадиабатические переходы при медленных атомных столкновениях / Е. Е. Никитин, С. Я. Уманский. – Москва : Атомиздат, 1979. – 272 с.
6. Парилис Э.С. Оже-процессы при атомных столкновениях / Э.С. Парилис, Л.М. Кишиневский, В.И. Матвеев, Б.Г. Краков. – Ташкент : «Фан», 1989. – 240 с.
7. Смирнов Б. М. Асимптотические методы в теории атомных столкновений / Б. М. Смирнов. – Москва : Атомиздат, 1973. – 296 с.
8. Сунакава С. Квантовая теория рассеяния / С.Сунакава. – Москва : Мир, 1979. – 268 с.

Допоміжні:

1. Chibisov M. I. Asymptotic exchange interactions in ion-atom systems / M. I. Chibisov, R. K. Janev // *Phys. Rep.* – 1988. – Vol. 166. – № 1. – P. 1–87.
2. Khoma M. V. On the semiclassical approach in the theory of ion-diatom exchange interaction: its application to charge exchange reactions / M. V. Khoma, O. M. Karbovanets, M. I. Karbovanets, R. J. Buenker // *Physica Scripta*. – 2008. – V. 78. – P. 065201 (10pp).
3. Nikitin E. E. Theory of slow atomic collisions / E. E. Nikitin, S. Ya. Umanski. – New York : Springer, 1984. – 432 p.
4. Галицкий В. М. Теория столкновений атомных частиц / В. М. Галицкий, Е. Е. Никитин, Б. М. Смирнов. – Москва : Наука, 1981. – 254 с.
5. Никитин Е. Е. Медленные атомные столкновения / Е. Е. Никитин, Б. М. Смирнов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

**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)