

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту

«Фізико-технічний факультет»

(вказати назву структурного підрозділу)

Кузнєцов П.В.

(вказати П.І. прізвище)

“ 10 ” жовтня 2023 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Теоретична фізики (Теоретична механіка)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (бакалаврський)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма спеціалізація	Прикладна фізика
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Навчально наукового інституту «Фізико-технічний факультет»

“25” серпня 2023 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
**Наумовець Артем Сергійович** кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера  
Протокол від “16” червня 2023 року № 10

Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

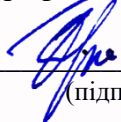


\_\_\_\_\_  
(підпис)

Микола ШУЛЬГА  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ігор ГІРКА  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»  
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



\_\_\_\_\_  
(підпис)

Микола ЮНАКОВ  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “ Теоретична фізика (теоретична механіка)” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни: підготовка фахівця з сучасної фізики, що володіє методами механіки Лагранжа та Гамільтона, здобуття студентами теоретичної бази для вивчення наступних курсів теоретичної фізики, що базуються на формалізмах Лагранжа та Гамільтона

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (теоретична механіка):

- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. (ЗК-6)
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-7)
- Здатність працювати автономно. (ЗК-9)

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (теоретична механіка):

- Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів. (СК-1)
- Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів. (СК-2)
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій. (СК-5)
- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (СК-6)
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (СК-7)
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (СК-9);
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних задач і моделювання фізичних систем (СК-10);

1.3. Кількість кредитів

**6**

1.4. Загальна кількість годин

**180**

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
2-й	
Семестр	
	4-й
Лекції	
-	64 год.

Практичні, семінарські заняття	
-	32 год.
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота,	
-	84 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
-	

#### 1.6. Заплановані результати навчання: студенти повинні

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **(Зн-1)**
- Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні. **(Зн-2)**
- Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. **(Зн-3)**
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. **(Зн-4);**
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**
- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **(Ум-4)**
- Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. **(Ум-5)**
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. **(Ум-6)**
- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи. **(АіВ-1).**

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Принцип найменшої дії та механіка Лагранжа

#### *Тема 1. Опис механічних систем методами Ньютона і Лагранжа.*

1. Місце теоретичної механіки в ряду дисциплін та галузей фізики, межі застосовності теоретичної механіки
2. Механіка Ньютона
  - a. Рух частинки
  - b. Рух системи частинок
3. Узагальнені координати та зв'язки
  - a. Зв'язки голономні та неголономні
  - b. Узагальнені координати
  - c. Приклади узагальнених координат для різних систем
4. Рівняння Лагранжа
  - a. Віртуальні зміщення та принцип Д'Аламбера
  - b. Функція Лагранжа та рівняння Лагранжа
  - c. Приклади конструювання функції Лагранжа
  - d. Узагальнені потенціали

#### *Тема 2. Варіаційний принцип*

1. Механічні системи
  - a. Причинність, початкові умови та механічні системи
  - b. Положення та стан системи, конфігураційний простір
2. Принцип стаціонарної дії
  - a. Формулювання принципу стаціонарної дії
  - b. Засади обчислення варіацій, приклади
  - c. Рівняння Ейлера-Лагранжа з принципу стаціонарної дії
3. Еквівалентні функції Лагранжа
4. Адитивність функції Лагранжа

#### *Тема 3. Матеріальні частинки та закони збереження*

1. Інерціальні системи відліку
  - a. Визначення інерціальної системи відліку
  - b. Перетворення та принцип відносності Галілея
  - c. Функція Лагранжа вільної матеріальної частинки
  - d. Функція Лагранжа системи матеріальних частинок
2. Симетрії та закони збереження
  - a. Енергія
  - b. Імпульс
  - c. Момент імпульсу
3. Механічна подоба та віріальна теорема
  - a. Однорідні функції та механічна подоба
  - b. Приклади: малі коливання та третій закон Кеплера
  - c. Теорема Ейлера та віріальна теорема
4. Інтегрування рівнянь руху в одновимірному випадку

### Розділ 2. Застосування формалізму Лагранжа до фізичних систем

#### *Тема 4. Рух в центральному полі*

1. Задача двох тіл та приведена маса
2. Рух у центральному полі
  - a. Число ступенів свободи, функція Лагранжа
  - b. Рівняння Лагранжа та їх інтегрування

- c. Одновимірний рух в ефективному потенціалі, відцентрова енергія
  - d. Фінітний та інфінітний рух, кругові орбіти, умова падіння на центр
  - e. Умова замкненості траєкторії в центральному полі та її симетрії
3. Задача Кеплера
    - a. Позначення: параметр та ексцентриситет
    - b. Одержання рівняння траєкторії в такому полі – еліпс, гіпербола, парабола
    - c. Рух в часі
    - d. Вектор Лапласа-Рунге-Ленца
    - e. Прецесія перигелію орбіти за наявності малої поправки до потенціалу, приклади
  4. Зіткнення та розсіювання частинок
    - a. Розпад частинки, розподіл по кутах
    - b. Пружні зіткнення, зокрема в випадку нерухомої мішені
    - a. Розсіювання частинок. Кут розсіювання та прицільна відстань
    - b. Ефективний перетин розсіювання
    - c. Формула Резерфорда

**Тема 5. Тверде тіло та неінерціальні системи відліку**

1. Орієнтація твердого тіла та повороти
  - a. Координати твердого тіла
  - b. Ортогональні перетворення ті кути Ейлера
  - c. Теорема Ейлера про рух твердого тіла
  - d. Скінченні та інфінітезимальні повороти
2. Неінерціальні системи відліку
  - a. Функція Лагранжа частинки в неінерціальній системі
  - b. Енергія в неінерціальній системі
3. Динаміка твердого тіла
  - a. Тензор інерції
  - b. Момент імпульсу
  - c. Рівняння руху твердого тіла
  - d. Рух симетричної дзиги

**Тема 6. Малі коливання**

1. Положення рівноваги, стійке та нестійке
2. Вільні одновимірні коливання: функція Лагранжа, рівняння, рішення
3. Змушені одновимірні коливання
  - a. Функція Лагранжа та рівняння вимушених коливань
  - b. Загальне рішення, що описує змушені коливання
  - c. Періодичне зовнішнє поле та резонанс
  - d. Биття під час змушених коливань
4. Дисипація в одновимірних коливаннях
  - a. Рівняння коливань з дисипацією
  - b. Загасаючі коливання та аперіодичне загасання
  - c. Змушені коливання с тертям, крива Лоренца
5. Коливання системи з багатьма ступенями свободи
  - a. Функція Лагранжа та система рівнянь, що описує малі коливання механічної системи з багатьма ступенями свободи поблизу положення рівноваги
  - b. Нормальні координати
  - c. Приклад: двовимірна система
  - d. Рішення задачі про змушені коливання за допомогою нормальних координат
  - e. Дисипаційна функція
  - f. Коливання електричних кіл

## Розділ 3. Механіка Гамільтона та неперервні системи

### Тема 7. Основи механіки Гамільтона

1. Рівняння Гамільтона
  - a. Відмінність методу Гамільтона від методу Лагранжа
  - b. Перетворення Лежандра
  - c. Функція Гамільтона (гамільтоніан) та канонічні рівняння Гамільтона
  - d. Симплектична нотація
  - e. Функції Лагранжа, Гамільтона та енергії; циклічні координати
2. Канонічні перетворення
  - a. Рівняння Гамільтона з варіаційного принципу
  - b. Канонічні перетворення
  - c. Твірні функції
  - d. Інфінітезимальні канонічні перетворення
  - e. Рух системи як канонічне перетворення
  - f. Симплектичний підхід
  - g. Теореми Ліувілля, загальна та спеціальна
3. Дужки Пуассона
  - a. Дужки Пуассона, визначення та властивості
  - b. Механіка Гамільтона через дужки Пуассона
  - c. Тотожність Якобі та теорема Пуассона
  - d. Існування твірної функції для одновимірної системи

### Тема 8. Метод Гамільтона-Якобі та змінні дія-кут

1. Дія як функція координат
2. Рівняння Гамільтона-Якобі
  - a. Твірна функція канонічного перетворення до постійних значень координат і імпульсів.
  - b. Рівняння Гамільтона-Якобі
  - c. Редуковане рівняння Гамільтона-Якобі
  - d. Приклад: гармонічний осцилятор
  - e. Розділення змінних в рівнянні Гамільтона-Якобі
3. Змінні «дія-кут» та адіабатичні інваріанти
  - a. Періодичні рухи типу лібрації й обертання
  - b. Змінні «дія-кут» для системи з одним ступенем свободи
  - c. Адіабатичні інваріанти системи з одним ступенем свободи
  - d. Приклад: параметрично збурений гармонічний осцилятор
  - e. Змінні дія-кут та адіабатичні інваріанти для систем з багатьма ступенями свободи
  - f. Приклад: відбиття зарядженої частинки від області сильного магнітного поля

### Тема 9. Механіка неперервних систем

1. Перехід від дискретної системи до неперервної
2. Рівняння Лагранжа для неперервних систем, коваріантна нотація та функціональна похідна
3. Виведення рівнянь Максвелла з функції Лагранжа



### 3. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Принцип найменшої дії та механіка Лагранжа</b>						
Тема 1. Опис механічних систем методами Ньютона і Лагранжа	12	6	3	-	-	6
Тема 2. Варіаційний принцип	15	6	3	-	-	9
Тема 3. Матеріальні частинки та закони збереження	18	6	6	-	-	9
Разом за розділом 1	45	18	12	-	-	24
<b>Розділ 2. Застосування лагранжева формалізма до фізичних систем</b>						
Тема 4. Рух в центральному полі	26	10	6	-	-	12
Тема 5. Тверде тіло та неінерціальні системи відліку	17	8	3	-	-	9
Тема 6. Малі коливання	17	8	3	-	-	8
Разом за розділом 2	60	26	12	-	-	29
<b>Розділ 3. Механіка Гамільтона та неперервні системи</b>						
Тема 7. Основи механіки Гамільтона	19	8	4	-	-	9
Тема 8. Метод Гамільтона-Якобі та змінні дія-кут	17	8	2	-	-	9
Тема 9. Механіка неперервних систем	9	4	2	-	-	13
Разом за розділом 3	45	20	8	-	-	31
<b>Усього годин</b>	<b>180</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>84</b>

### 4. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Варіаційне обчислення	2
2	Конструювання функцій Лагранжа	2
3	Закони збереження	2
4	Подоба та теорема віріалу	2
5	Одновимірний рух	4
6	Центральне поле,	4
7	Задача розсіювання	2
8	Тверде тіло	3
9	Малі коливання	3
10	Функція Гамільтона та рівняння Гамільтона	2
11	Генеруючі функції та дужки Пуасона	2
12	Метод Гамільтона-Якобі та змінні дія-угол	2
13	Механіка неперервних систем	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>



## 5. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1	Опис механічних систем методами Ньютона і Лагранжа	6	Перевірка домашнього завдання, опитування
2	Варіаційний принцип	9	
3	Матеріальні частинки та закони збереження	9	
4	Рух в центральному полі	12	
5	Тверде тіло та неінерціальні системи відліку	9	
6	Малі коливання	8	
7	Основи механіки Гамільтона	9	
8	Метод Гамільтона-Якобі та змінні дія-кут	9	
9	Механіка неперервних систем	13	
	Разом	84	

## 6. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання не передбачені

## 7. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-бесіди. Практичні заняття проводяться шляхом розв'язання окремими студентами задач перед загальною аудиторією. Основною метою практичних занять є розвиток навичок розв'язання задач і закріплення теоретичного матеріалу. Домашні завдання з розв'язування задач.

## 8. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Вхідний контроль – контрольна робота за необхідними розділами фізики та математики
2. Поточний контроль: на кожний розділ виділяється 15, 25 та 20 балів відповідно. Бали по кожному розділу набираються з:
  - а. виконання домашніх завдань із розв'язування задач, загалом по 10, 20 та 15 балів в розділах 1-3 відповідно
  - б. модульні контрольні роботи із розв'язування задач, тривалістю 2 академічні години, з трьома задачами, по 5 балів
  - с. робота біля дошки на практичних заняттях, до 5 балів
3. Екзаменаційна робота (ваговий бал – 40). Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання.

Критерії оцінювання: Теоретичні питання оцінюються в 15 балів кожен, при неповній або частково помилковій відповіді – 10 балів, при незадовільній відповіді з ознаками розуміння базового матеріалу – 5 балів, при відсутності відповіді – 0 балів. Ще 10 балів відводяться на додаткові питання по теоретичному матеріалу.

Форма підсумкового контролю знань – екзамен.

## 9. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Поточний контроль та самостійна робота									Екзамен	Сума	
Розділ 1			Розділ 2			Розділ 3			Разом		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	60	40	100
5	5	10	15	5	5	5	5	5			

T1, T2 ... T10 – теми розділів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 15 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 10. РЕКОМЕНДОВАНЕ МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Опорні конспекти лекцій, методичні поради до курсу, що вивчається.

### **Базова література**

1. L D Landau , E.M. Lifshitz . Mechanics: Volume 1 (Course of Theoretical Physics S) 3rd Edition, Butterworth-Heinemann; 3rd edition (January 15, 1976)
2. Herbert Goldstein, Charles Poole, and John Safko, Classical Mechanics, Addison Wesley, San Francisco, 2002.
3. George Hrabovsky, Leonard Susskind. Classical Mechanics : The Theoretical Minimum. Penguin Books Ltd. London, United Kingdom. 256 pages.

### **Допоміжна література**

1. Joel A. Shapiro . Classical Mechanics. Rutgers 2003, 252 pages

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. <http://feynmanlectures.caltech.edu/>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lagrangian\\_mechanics](https://en.wikipedia.org/wiki/Lagrangian_mechanics)