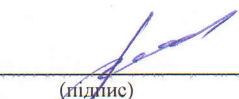


Додаток до робочої програми навчальної дисципліни  
«Класична механіка»  
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 2024/2025 н. р. для всіх освітньо-професійних програм: «Фізика», «Астрономія», «Інформаційні технології (ІТ) в фізиці» спеціальності 104 – фізика та астрономія

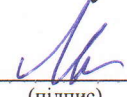
Заступник декана фізичного факультету з навчальної роботи

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

Рохмістров Д.В.  
\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

« 30 » 08 2024 р.

Голова науково-методичної комісії фізичного факультету

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

Макаровський М.О.  
\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

« 28 » 08 2024 р.

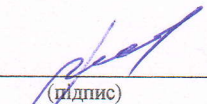
Додаток до робочої програми навчальної дисципліни

«Класична механіка»

(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 2023/2024 н. р.

Заступник декана фізичного факультету з навчальної роботи

  
\_\_\_\_\_


(підпис)

Рохмістров Д.В.

(прізвище, ініціали)

«29» 08 2023 р.

Голова науково-методичної комісії фізичного факультету

  
\_\_\_\_\_

(підпис)

Макаровський М.О.

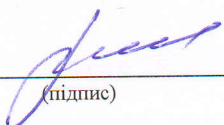
(прізвище, ініціали)

«29» 08 2023 р.

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни  
**«Класична механіка»**  
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 2022/2023 н. р.


Заступник декана фізичного факультету з навчальної роботи

  
(підпис)

Рохмістров Д.В.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2022 р.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ факультету

  
(підпис)

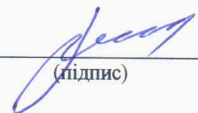
Макаровський М.О.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2022 р.

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни «Класична механіка»  
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 2021/2022 н. р.

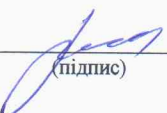
Заступник декана фізичного факультету з навчальної роботи

  
(підпис)

Рохмістров Д.В.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2021 р.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ факультету

  
(підпис)

Макаровський М.О.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2021 р.

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця



Робоча програма навчальної дисципліни

Класична механіка

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_

галузь знань \_\_\_\_\_ 10 Природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_ 104 – Фізика та астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

освітня програма \_\_\_\_\_ “Фізика” \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

вид дисципліни \_\_\_\_\_ обов'язкова \_\_\_\_\_  
(обов'язкова / за вибором)

факультет \_\_\_\_\_ фізичний \_\_\_\_\_

2020 / 2021 навчальний рік



Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 28 ” 08 2020 року, протокол № 5

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Ковальов Олександр Семенович, д. фіз.-мат. наук, професор, Майзеліс Захар Олександрович, канд. фіз.-мат. наук, доцент**

Програму схвалено на засіданні кафедри  
теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 24 ” 06 2020 року № 10

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

  
(підпис)

Рашба Г.І.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність 104 – фізика та астрономія)  
назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми  
(керівник проектної групи) Лазоренко О.В.

  
(підпис)

Лазоренко О.В.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією  
фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 25 ” 06 2020 року № 10

Голова методичної комісії фізичного факультету

  
(підпис)

Макаровський М.О..  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Класична механіка” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр спеціальності 104 – фізика та астрономія  
освітня програма – фізика

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Класична механіка» є надання студентам уявлень про механічну картину Всесвіту, про варіаційні принципи, про закони збереження, побудова на основі варіаційних принципів теорії руху механічних систем.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Класична механіка»

навчити студентів

- застосовувати варіаційні принципи для побудови теорії руху механічних систем,
- розв’язувати рівняння класичної механіки в ньютонівому та лагранжевому формалізмах,
- розв’язувати канонічні рівняння класичної механіки,
- розв’язувати рівняння динаміки твердого тіла,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач класичної механіки.

*Компетентності, що забезпечуються дисципліною:*

- 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 складністю та невизначеністю умов (ІК).

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).

- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).

- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).

- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).

- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).

- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).

- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).

- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).

- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).

- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).

- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).

- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).

- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).

- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).

- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).

- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів 6

1.4. Загальна кількість годин 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
денна форма навчання
Нормативна
Рік підготовки
2-й
Семестри
4-й
Лекції
64 год.
Практичні, семінарські
32 год.
Лабораторні
немає
Самостійна робота
84 год.
Індивідуальні завдання:
В тому числі <u>10 год.</u> самостійної роботи на 1 індивідуальне розрахунково-графічне завдання
Вид контролю:
<b>екзамен</b>

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на базовому рівні варіаційні принципи механіки та методи інтегрування рівнянь руху механічних систем, методи, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у механічних системах, з метою розв'язування типових фізичних задач.

Бути здатним застосовувати базові математичні знання з нерелятивістської класичної механіки, розв'язувати рівняння Ньютона, Лагранжа, Гамільтона, Гамільтона – Якобі точними та наближеними методами, зокрема, законами збереження, володіти методами класичної механіки, вільно користуватись ними при розрахунках траєкторій руху механічних систем. На основі відомих властивостей функції Лагранжа (функції Гамільтона) та законів збереження вміти розраховувати фізичні характеристики механічних систем для пояснення отриманих даних і передбачення нових наукових результатів. Вміти впроваджувати здобуті фундаментальні знання з класичної механіки для знаходження фізичних характеристик макросистем.

*Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:*



- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні 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 (ПРН-1).
- 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 (ПРН-2).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).
- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

## **2. тематичний план навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. РІВНЯННЯ РУХУ В ФОРМІ НЬЮТОНА ТА ЛАГРАНЖА. МЕХАНІЧНІ ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ.**

Тема 1. Історичний огляд початкового етапу розвитку механіки. Основні принципи класичної механіки. Властивості простору та часу. Перші формулювання механічних законів. Механіка як емпірична наука. Закони Кеплера небесної механіки. Принцип відносності Галілея. Інерціальні системи відліку. Перетворення Галілея.

Тема 2. Ньютон і Гук. Закон всесвітнього тяжіння. Принцип детермінізму і початкові умови. Закони Ньютонів і рівняння руху матеріальної точки в формі Ньютонів. Поняття

матеріальної точки, швидкості, прискорення, сили та енергії. Розв'язки рівнянь Ньютона і закони Кеплера.

Тема 3. Лагранжев підхід до аналітичної механіки. Узагальнені координати. Механічні системи з зв'язками. Основи варіаційного обчислення Ейлера. Принцип найменшої дії Гамільтона. Механічна дія і функція Лагранжа. Рівняння Лагранжа та властивості функції Лагранжа.

Тема 4. Функція Лагранжа матеріальної точки в декартових, циліндричних, сферичних координатах. Кінетична та потенціальна енергії. Приклади потенційних полів: однорідне, центрально - симетричне та кулонівське поля. Функція Лагранжа системи матеріальних точок. Функція Лагранжа математичного маятника та маятника з коливною точкою почепу.

Тема 5. Закони збереження. Однорідність часу і закон збереження енергії. Однорідність простору і закон збереження імпульсу. Ізотропія простору і закон збереження кутового моменту. Центр інерції системи матеріальних точок. Приховані симетрії. Масштабна симетрія і механічне подібність. Віріал Клаузіуса та віріальна теорема. Теорема Емі Ньотер.

## **Розділ 2. ОДНОВИМІРНА ДИНАМІКА. ПРОБЛЕМА ДВОХ ТІЛ: ЗАДАЧА КЕПЛЕРА І РОЗСІЯННЯ ЧАСТИНОК. РУХ ТВЕРДОГО ТІЛА.**

Тема 6. Динаміка систем з одним ступенем свободи. Якісний аналіз динаміки на фазовій площині. Особливі точки на фазовій площині: центр, сідло, стійкий та нестійкий фокуси, стійкий та нестійкий вузол. Сепаратричні розв'язки. Залежність енергії коливання від енергії. Обернена задача: знаходження потенційної енергії по периметру коливання осцилятора.

Тема 7. Динаміка системи з двома ступенями свободи. Рух у центральному полі. Приведена маса. Зведення проблеми до одновимірного руху. Задача знаходження траєкторії руху і повний розв'язок проблеми.

Тема 8. Аналіз проблеми двох тіл на фазовій площині. Замкнуті та незамкнуті траєкторії руху. Перетин Пуанкаре. Інваріантні тори. Резонансні тори. Рух в квадратичному потенціалі та потенціалі Куплера.

Тема 9. Траєкторії руху в потенціалі Кеплера: фінітний рух, інфінітні траєкторії. Розсіяння частинки у потенціалі відштовхування. Залежність від часу руху тіла в потенціалі Кеплера і електростатичному потенціалі.

Тема 10. Розсіювання частинок в системі відліку, пов'язаній з центром інерції. Ефективний переріз розсіювання. Розсіювання на твердій кулі. Формула Резерфорда. Розсіювання під малими кутами.

Тема 11. Зіткнення частинок. Пружні зіткнення частинок. Розсіяння однакових частинок. Перерахування формул ефективного перерізу розсіювання з системи центра інерції до лабораторної системи відліку. Перерахунок формули Резерфорда.

Тема 12. Рух твердого тіла. Узагальнені координати: декартові та кутові. Швидкість поступового руху та обертальна швидкість. Кінетична енергія твердого тіла та тензор інерції. Кульовий вовчок, симетричний вовчок, асиметричний вовчок.

Тема 13. Момент імпульсу твердого тіла. Вільне обертання симетричного вовчка.

Тема 14. Рівняння руху твердого тіла в лабораторній системі відліку і системі, що пов'язана з твердим тілом. Кути Ейлера та рівняння Ейлера. Перехід від розв'язків в системі, що пов'язана з твердим тілом до лабораторної системи відліку.

Тема 15. Якісний аналіз вільного руху асиметричного вовчка. Точний розв'язок проблеми вільного руху асиметричного вовчка. Еліптичні функції Якобі і їх властивості.

Тема 16. Рух в неінерційних системах відліку. Відцентрова сила та сила Коріоліса. Задача Ньютона про вільне падіння тіла в полі тяжіння Землі.

## **Розділ 3. МАЛІ КОЛИВАННЯ. ЛІНІЙНІ ТА АНГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ.**

Тема 17. Коливання лінійного осцилятора. Лінійні обертаня ротатора. Урахування дисипації. Лінійні коливання з слабким загасання. Лінійні коливання з сильним загасанням. Дисипативна функція.

Тема 18. Вимушені лінійні коливання. Адитивний та мультиплікативний вплив на лінійну систему. Приклад адіабатичної зовнішньої сили. Лінійний прямий резонанс. Резонансний вплив на динаміку магнітного моменту. Вплив загасання на лінійний резонанс.

Тема 19. Лінійний параметричний резонанс: загальне розглядання. Параметричний резонанс в резонансному наближенні. Параметричний резонанс на прикладі лінійного ротатора. Вплив загасання на явище лінійного параметричного резонансу.

Тема 20. Коливання систем з багатьма ступенями свободи. Нормальні моді коливань. Коливання двох зв'язаних лінійних осциляторів. Явище внутрішнього резонансу. Коливання чотирьох зв'язаних осциляторів. Вільні та періодичні граничні умови. Коливання ланцюжку лінійних осциляторів. Спектр лінійних коливань.

Тема 21. Коливання нелінійного осцилятора. Якісний підхід до нелінійних коливань. Залежність частоти коливань від їх енергії і субгармоніки коливань. Нелінійні коливання в резонансному наближенні. Нелінійні обертаня ротатора і магнітного моменту.

Тема 22. Вплив загасання на коливання нелінійного осцилятора. Осцилятор Ван-дер-Поля і явище граничного циклу: якісний підхід та розглядання в межах ефективної моделі.

Тема 23. Резонанс в нелінійних системах. Квадратична та кубічна не лінійності. Резонансне наближення. Явище динамічного хаосу. Нелінійний резонанс при резонансному впливі на магнітний момент. Врахування загасання на явище нелінійного резонансу.

Тема 24. Нелінійний параметричний резонанс. Параметричний вплив на ангармонічний осцилятор (резонансне наближення). Нелінійний параметричний резонанс на прикладі динаміки магнітного моменту. Вплив загасання на явище нелінійного параметричного резонансу.

Тема 25. Проблема розподілу багатомасштабних часових рухів. Рух в швидко осцилюючому полі. Задача про маятник Капиці.

Тема 26. Нелінійна динаміка в системі з кількома ступенями свободи. Два зв'язані ангармонічні осцилятори. Біфуркація розв'язків. Система двох зв'язаних ангармонічних ротаторів. Хаос в динамічних системах.

#### **Розділ 4. КАНОНІЧНІ РІВНЯННЯ МЕХАНІКИ**

Тема 27. Перетворення Лежандра. Функція Гамільтона. Рівняння Гамільтона. Вивід рівнянь Гамільтона з варіаційного принципу. Функція Рауса.

Тема 28. Дужки Пуассона: основні властивості; тотожність Якобі; приклади складення дужок  $\{p_i, p_k\}$ ,  $\{q_i, q_k\}$ ,  $\{M_i, M_k\}$  тощо. Дужки Пуассона та інтеграли рівнянь руху.

Тема 29. Дія як функція координат. Рівняння руху в термінах дії. Скорочена дія і принцип Мопертюї.

Тема 30. Канонічні перетворення. Твірна функція і канонічні перетворення. Приклади канонічних перетворень. Поведінка дужок Пуассона при канонічних перетвореннях. Функція дії як твірна функція канонічних перетворень. Теорема Ліувіля та динаміка фазового простору в гамільтонових та негамільтонових системах.

Тема 31. Рівняння Гамільтона-Якобі та його роль в механіці. Приклади складання та інтегрування рівняння Гамільтона-Якобі: рух частинки в сталому та однорідному полі, просторовий осцилятор, рух частинки в кулоновому полі. Нескінченно малі канонічні перетворення.

Тема 32. Зв'язок інтегралів руху із властивостями симетрії функції Гамільтона. Метод розділення змінних в рівнянні Гамільтона-Якобі. Розділення змінних в декартових, циліндричних та сферичних координатах.

Тема 33. Адіабатичні інваріанти. Зв'язок з квантовою механікою. Канонічні змінні.

## 3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
Л		п	лаб	інд	Ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>4 семестр</b>						
<b>Розділ 1. РІВНЯННЯ РУХУ В ФОРМІ НЬЮТОНА ТА ЛАГРАНЖА. МЕХАНІЧНІ ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ</b>						
Тема 1	7	2	2			3
Тема 2	7	2	2			3
Тема 3	7	2	2			3
Тема 4	6	2	1			3
Тема 5	8	2	1		2	3
Разом за розділом 1	35	10	8		2	15
<b>Розділ 2. ОДНОВИМІРНА ДИНАМІКА. ПРОБЛЕМА ДВОХ ТІЛ: ЗАДАЧА КЕПЛЕРА І РОЗСІЯННЯ ЧАСТИНОК. РУХ ТВЕРДОГО ТІЛА</b>						
Тема 6	5	2			1	2
Тема 7	5	2	1			2
Тема 8	5	2	1			2
Тема 9	6	2	1		1	2
Тема 10	6	2	1		1	2
Тема 11	6	2	1		1	2
Тема 12	5	2	1			2
Тема 13	5	2	1			2
Тема 14	5	2	1			2
Тема 15	5	2	1			2
Тема 16	4	2				2
Разом за розділом 2	57	22	9		4	22
<b>Розділ 3. МАЛІ КОЛИВАННЯ. ЛІНІЙНІ ТА АНГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ</b>						
Тема 17	6	1	2		1	2
Тема 18	4	2				2
Тема 19	4	2				2
Тема 20	6	1	2		1	2
Тема 21	4	2				2
Тема 22	4	2				2
Тема 23	6	2	2			2
Тема 24	5	2				3
Тема 25	5	2				3
Тема 26	7	2	2			3
Разом за розділом 3	51	18	8		2	23
<b>Розділ 4. КАНОНІЧНІ РІВНЯННЯ МЕХАНІКИ</b>						
Тема 27	5	2	1			2
Тема 28	5	2	1			2
Тема 29	5	2	1			2
Тема 30	5	2	1			2

Тема 31	6	2	1		1	2
Тема 32	6	2	1		1	2
Тема 33	5	2	1			2
Разом за розділом 4	37	14	7		2	14
<b>Усього годин</b>	<b>180</b>	<b>64</b>	<b>32</b>		<b>10</b>	<b>74</b>

#### 4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	2	3
1.	Ньютонов формалізм.	2
2.	Функція Лагранжа систем з одним ступенем свободи.	2
3.	Функція Лагранжа систем з декількома ступенями свободи.	2
4.	Закони збереження для систем з одним ступенем свободи.	1
5.	Закони збереження для систем з декількома ступенями свободи.	1
6.	Умова фінітності одновимірного руху. Залежність періоду руху від енергії.	1
7.	Перетворення координат.	1
8.	Рух в центральних полях.	1
9.	Кеплерова задача.	1
10.	Центральна взаємодія частинок. Розпад та зіткнення.	1
11.	Диференціальний ефективний переріз розсіяння.	1
12.	Розсіяння під малими кутами	1
13.	Властивості пучків частинок	1
14.	Коливання систем одним ступенем свободи	1
15.	Коливання систем з декількома ступенями свободи	2
16.	Нелінійні коливання.	2
17.	Резонансні явища.	2
18.	Рух твердого тіла.	2
19.	Канонічні рівняння.	1
20.	Дужки Пуассона.	1
21.	Канонічні перетворення	1
22.	Рівняння Гамільтона–Якобі. Методи розв'язання.	1
23.	Конкретні приклади розв'язання задач класичної механіки методом Гамільтона–Якобі: рух частинки в сталому та однорідному полі, просторовий осцилятор, рух частинки в кулоновому полі.	1
24.	Адіабатичні інваріанти.	1
25.	Канонічні змінні.	1
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

#### 5. Завдання для самостійної роботи

*Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи.*

1. По всім нижче вказаним темам опрацювати конспекти лекцій, прочитати відповідні параграфи в підручниках [1–5].

2. Виконати самостійно домашні завдання 1-23.
3. Самостійно розв'язати протягом семестру запропоноване індивідуальне розрахунково-графічне завдання та подати його у встановлений термін для перевірки.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1	Основні принципи класичної механіки. Властивості простору та часу. Принцип відносності Галілея. Інерціальні системи відліку. Перетворення Галілея.	2
2	Закони Ньютона і рівняння руху матеріальної точки в формі Ньютона. Поняття матеріальної точки, швидкості, прискорення, сили та енергії. Розв'язки рівнянь Ньютона і закони Кеплера.	2
3	Лагранжев підхід до аналітичної механіки. Узагальнені координати. Механічні системи з зв'язками. Основи варіаційного обчислення Ейлера. Принцип найменшої дії Гамільтона. Механічна дія і функція Лагранжа. Рівняння Лагранжа та властивості функції Лагранжа.	3
4	Функція Лагранжа матеріальної точки в декартових, циліндричних, сферичних координатах. Кінетична та потенціальна енергії. Приклади потенційних полів: однорідне, центральне - симетричне та кулонівське поля. Функція Лагранжа системи матеріальних точок. Функція Лагранжа математичного маятника та маятника з коливною точкою почепу.	2
5	Закони збереження. Однорідність часу і закон збереження енергії. Однорідність простору і закон збереження імпульсу. Ізотропія простору і закон збереження кутового моменту. Центр інерції системи матеріальних точок. Приховані симетрії. Масштабна симетрія і механічне подібність. Віріал Клаузіуса та віріальна теорема. Теорема Емі Нетер. В тому числі <u>2 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
6	Динаміка систем з одним ступенем свободи. Залежність енергії коливання від енергії. Обернена задача: знаходження потенційної енергії по периметру коливання осцилятора. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання	2
7	Еволюція системи з двома ступенями свободи. Рух у центральному полі. Приведена маса. Система відліку центру інерції. Зведення проблеми до одновимірного руху. Задача знаходження траєкторії руху і повний розв'язок проблеми.	2
8	Аналіз проблеми двох тіл на фазовій площині. Замкнуті та незамкнуті траєкторії руху. Рух в квадратичному потенціалі та потенціалі Кеплера.	2
9	Траєкторії руху в потенціалі Кеплера: фінітний рух, інфінітні траєкторії. Розсіювання частинки у потенціалі відштовхування. Залежність від часу руху тіла в потенціалі Кеплера і електростатичному потенціалі. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
10	Розсіювання частинок в системі відліку, пов'язаній з центром інерції. Ефективний переріз розсіювання. Розсіювання на твердій кулі. Формула Резерфорда. Розсіювання під малими кутами. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2



11	Зіткнення частинок. Пружні зіткнення частинок. Розсіювання однакових частинок. Перерахування формул ефективного перерізу розсіювання з системи центра інерції до лабораторної системи відліку. Перерахунок формули Резерфорда. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
12	Рух твердого тіла. Узагальнені координати: декартові та кутові. Швидкість поступового руху та обертальна швидкість. Кінетична енергія твердого тіла та тензор інерції. Кульовий вовчок, симетричний вовчок, асиметричний вовчок.	2
13	Момент імпульсу твердого тіла. Вільне обертання симетричного вовчка	2
14	Рівняння руху твердого тіла в лабораторній системі відліку і системі, що пов'язана з твердим тілом. Кути Ейлера та рівняння Ейлера. Перехід від розв'язків в системі, що пов'язана з твердим тілом до лабораторної системи відліку.	2
15	Якісний аналіз вільного руху асиметричного вовчка. Точний розв'язок проблеми вільного руху асиметричного вовчка. Еліптичні функції Якобі і їх властивості.	2
16	Рух в неінерційних системах відліку. Відцентрова сила та сила Коріоліса. Задача Ньютона про вільне падіння тіла в полі тяжіння Землі.	2
17	Коливання лінійного осцилятора. Лінійні обертання ротатора. Урахування дисипації. Лінійні коливання з слабким загасанням. Лінійні коливання з сильним загасанням. Дисипативна функція. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
18	Вимушені лінійні коливання. Адитивний та мультиплікативний вплив на лінійну систему. Приклад адіабатичної зовнішньої сили. Лінійний прямий резонанс. Резонансний вплив на динаміку магнітного моменту. Вплив загасання на лінійний резонанс.	2
19	Параметричний резонанс в резонансному наближенні. Параметричний резонанс на прикладі лінійного ротатора. Вплив загасання на явище лінійного параметричного резонансу.	2
20	Коливання систем з багатьма ступенями свободи. Нормальні моді коливань. Коливання двох зв'язаних лінійних осциляторів. Явище внутрішнього резонансу. Коливання чотирьох зв'язаних осциляторів. Вільні та періодичні граничні умови. Коливання ланцюжку лінійних осциляторів. Спектр лінійних коливань. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
21	Коливання нелінійного осцилятора. Якісний підхід до нелінійних коливань. Залежність частоти коливань від їх енергії і субгармоніки коливань. Нелінійні коливання в резонансному наближенні. Нелінійні обертання ротатора і магнітного моменту.	2
22	Вплив загасання на коливання нелінійного осцилятора. Осцилятор Ван-дер-Поля і явище граничного циклу: якісний підхід та розглядання в межах ефективною моделі.	2
23	Резонанс в нелінійних системах. Квадратична та кубічна нелінійності. Резонансне наближення. Явище динамічного хаосу. Нелінійний резонанс при резонансному впливі на магнітний момент. Врахування загасання на явище нелінійного резонансу.	2
24	Нелінійний параметричний резонанс. Параметричний вплив на ангармонічний осцилятор (резонансне наближення). Нелінійний параметричний резонанс на прикладі динаміки магнітного моменту. Вплив загасання на явище нелінійного параметричного резонансу.	2

25	Проблема розподілу багатомасштабних часових рухів. Рух в швидко осцилюючому полі. Задача про маятник Капиці.	2
26	Нелінійна динаміка в системі з кількома ступенями свободи. Два зв'язані ангармонічні осцилятори. Біфуркація розв'язків. Система двох зв'язаних ангармонічних ротаторів. Хаос в динамічних системах.	2
27	Перетворення Лежандра. Функція Гамільтона. Рівняння Гамільтона. Вивід рівнянь Гамільтона з варіаційного принципу. Функція Рауса.	2
28	Дужки Пуассона: основні властивості; тотожність Якобі; приклади складення дужок $\{p_i, p_k\}$ , $\{q_i, q_k\}$ , $\{M_i, M_k\}$ тощо. Дужки Пуассона та інтегралі рівнянь руху.	2
29	Дія як функція координат. Рівняння руху в термінах дії. Скорочена дія і принцип Мопертюї.	2
30	Канонічні перетворення. Твірна функція і канонічні перетворення. Приклади канонічних перетворень. Поведінка дужок Пуассона при канонічних перетвореннях. Функція дії як твірна функція канонічних перетворень. Теорема Ліувіля та динаміка фазового простору в гамільтонових та негамільтонових системах.	2
31	Рівняння Гамільтона-Якобі та його роль в механіці. Приклади складання та інтегрування рівняння Гамільтона-Якобі: рух частинки в сталому та однорідному полі, просторовий осцилятор, рух частинки в кулоновому полі. Нескінченно малі канонічні перетворення. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
32	Зв'язок інтегралів руху із властивостями симетрії функції Гамільтона. Метод розділення змінних в рівнянні Гамільтона-Якобі. Розділення змінних в декартових, циліндричних та сферичних координатах. В тому числі <u>1 год.</u> – виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання	3
33	Адіабатичні інваріанти. Зв'язок з квантовою механікою. Канонічні змінні.	2
	<b>Разом</b>	<b>70</b>

## 6. Індивідуальні завдання

Передбачене одне індивідуальне розрахунково-графічне завдання. Завдання складається із двох задач з теорії коливань з навчально-методичного посібника [8].

## 7. Методи контролю

Розв'язання задач на практичних заняттях, опитування, контрольні роботи за основними розділами, перевірка домашніх завдань, здача та захист індивідуального розрахунково-графічного завдання, письмовий екзамен.

### 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання							Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Інд. завд.	Разом		
T1-T5	T6-T16	T17-T26	T27-T33	(2 контрольні роботи за розд. 1-2 та 3-4 відп.)	1 Інд. розр.-граф. завд.			
10	10	10	10	5 + 5 = 10	10	60	40	100

Для зарахування розділів 1 та 2 треба виконати домашні завдання, написати контрольну роботу та набрати в сумі не менше 12,5 балів у підсумку, для зарахування розділів 3 та 4 треба виконати домашні завдання, написати контрольну роботу виконати та захистити індивідуальне розрахунково-графічне завдання та набрати у підсумку не менше 17,5 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 4 розділи та набрати у підсумку не менше 30 балів.

Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. З теоретичні питання максимальна оцінка – по 15 балів за кожне, максимальна оцінка за задачу – 10 балів. Для успішної здачі письмового екзамену треба набрати в підсумку не менше 20 балів, а загалом не менше 50 балів за всі види контролю.

#### Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

У відповіді на теоретичне питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Класична механіка» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з виводами основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (3 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (3 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (3 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (3 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (3 бали).

Рішення задачі має бути обґрунтованим, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, які застосовуються при рішенні, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеним до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Завдання розв'язано на оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Завдання розв'язано на оцінку 8-9 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але продемонстрував вірний метод і спосіб її отримання.
3. Завдання розв'язано частково на оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але частково розв'язав задачу та отримав деякі проміжні результати.
4. Завдання розв'язано на оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

**Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.**

### Шкала оцінювання

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

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Mechanics, Butterworth-Heinenann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd – 1976. – 160p.
2. Goldstein H. Classical mechanics / H. Goldstein, Poole C., Safko J. Addison Wesley, 2002. – 638 p.
3. Arnold V.I. Mathematical methods of Classical mechanics / V.I. Arnold. Springer-Verlag, 1989. – 516 p.
4. Sommerfeld A. Mechanics. Lectures on Theoretical Physics, V.1 / A.Sommerfeld. Academic Press Inc. Publishers, 1952. – 289 p.
5. Федорченко А.М. Теоретична фізика. У 2-х томах. Том 1. Класична механіка і електродинаміка / А.М.Федорченко. – К. : Вища школа, 1992, – 535с.
6. Єжов С.М., Макарець М.В., Романенко О.В. Класична механіка: Підручник для студентів фізичних спеціальностей університетів. – К.: фізичний факультет, 2007. – 399 с.
7. Kotkin G.L., Serbo V.G. Collection of problems in classical mechanics. International Series of Modern Natural Philosophy.– V.31. – Pergamon Press, 1971 – 270 p.

### Допоміжна література

1. Класична динаміка у ньютонівському та лагранжевому формалізмі: навч.-метод. посіб. / О. В. Єзерська, О. С. Ковальов, З. О. Майзеліс, Т. С. Чебанова. – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 148 с.

2. Малі коливання. І. Лінійні коливання : навч.-метод. посіб. / [О. С. Ковальов, О. В. Єзерська, З. О. Майзеліс, Т. С. Чебанова]. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 112 с.

### **10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики

[http://kaf-theor-](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Class_Dinam_Kovalev%20et%20al.pdf)

[phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Class\\_Dinam\\_Kovalev%20et%20al.pdf](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Robochi%20programy/Class_Dinam_Kovalev%20et%20al.pdf)

[http://kaf-theor-](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Kovalyov.%20Mali%20kolyvannya.%20I.%20Li)

[phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Kovalyov.%20Mali%20kolyvannya.%20I.%20Li](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Kovalyov.%20Mali%20kolyvannya.%20I.%20Li)  
[niyni%20kolyvannya.pdf](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Kovalyov.%20Mali%20kolyvannya.%20I.%20Li)

2. Відкритий архів електронних версій підручників

<https://ia903206.us.archive.org/4/items/landau-and-lifshitz-physics-textbooks-series/Vol%201%20-%20Landau%2C%20Lifshitz%20-%20Mechanics%20%283rd%20ed%2C%201976%29.pdf>

<https://archive.org/details/GOLDSTEINClassicalMechanics>

<https://ia801203.us.archive.org/14/items/v-arnold-mathematical-methods-of-classical-mechanics-1989/v-arnold-mathematical-methods-of-classical-mechanics-1989.pdf>

<https://ia902203.us.archive.org/12/items/kotkin-serbo-collection-of-problems-in-classical-mechanics/Kotkin%2C%20Serbo%20-%20Collection%20of%20Problems%20in%20Classical%20Mechanics.pdf>

3. Відеокурс лекцій з теоретичної механіки проф. Л.Зюскинда, Стендфордський університет L.Susskind, Stanford University (10 lectures)

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL85D9F14410A7E018>