

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету (директор
навчально-наукового інституту)фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)

ВОВК Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)

30 09

2025р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Варіаційні принципи класичної механіки та механіка суцільних середовищ.

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)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 за вибором

(обов'язкова / за вибором)

факультет фізичний

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 29 ” 08 2025 року, протокол № 10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Рашба Георгій Ілліч, к. фіз.-мат. н., доцент, завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця,

Єзерська Олена Володимирівна, к. фіз.-мат. н., доцент

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

Протокол від “ 27 ” 08 2025 року № 18

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 “ 28 ” 08 2025 року № 5

Голова методичної комісії фізичного факультету

(підпис)

Макаровський М.О.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Варіаційні принципи класичної механіки та механіка суцільних середовищ» складена відповідно до освітньо-наукової (освітньо-професійної) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр спеціальності 104 – фізика та астрономія освітня програма – фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Варіаційні принципи класичної механіки та механіка суцільних середовищ» є надання студентам кафедри теоретичної фізики поглиблених уявлень про варіаційні принципи, про закони збереження, побудову на основі варіаційних принципів теорії руху механічних систем в лагранжевому та гамільтоновому формалізмах, у формалізмі рівняння Гамільтона–Якобі як для нерелятивістських так і релятивістських механічних систем, встановлення зв'язку між класичною та квантовою механіками, про використання варіаційних принципів у класичній механіці та у механіці суцільних середовищ – теорії руху рідин, газів та твердих тіл.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

є навчити студентів:

- використанню варіаційних принципів для отримання рівнянь класичної та релятивістської механіки
- розв'язанню задач класичної механіки методами Лагранжа, Гамільтона, Гамільтона–Якобі
- основним поняттям механіки суцільних середовищ,
- способам опису Ейлера та Лагранжа,
- рівнянню неперервності та тензору напруження,
- основним рівнянням руху ідеальної рідини,
- описувати гравітаційні, звукові, сферичні, ударні хвилі,
- характеризувати в'язку рідину,
- основним рівнянням теорії пружності,
- розв'язуванню задач деформування стержню,
- розглядати розповсюдження звукових хвиль,
- досліджувати теоретичним шляхом теплопровідність, в'язкість, поглинання звуку,
- користуватись навчальною та довідковою літературою та обирати адекватні методи розв'язання задач механіки суцільних середовищ.

1.3. Кількість кредитів – 5.

1.4. Загальна кількість годин – 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
3-й
Семестр
5-й
Лекції
64 год.
Практичні, семінарські заняття
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
86 год.
Індивідуальні завдання
Курсова робота 20 год. за рахунок самостійної роботи

1.6. Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна:

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на професійному рівні принципи і теоретичні підходи до опису аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті варіаційних принципів класичної механіки.

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на базовому рівні механіку суцільних середовищ для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у рідинах, газах, твердих тілах, – з метою розв'язування типових фізичних задач.

Бути здатним застосовувати математичні знання з теорії диференціальних рівнянь, варіаційного обчислення, теорії лінійних просторів з метою розв'язання задач класичної механіки різними методами.

Бути здатним застосовувати базові математичні знання з методів опису суцільних середовищ з метою отримання фізичних характеристик рідин, газів, твердих тіл.

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 вимірними 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).

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисциплінарна програма:

- **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 відшуковувати 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).

1.8. Пререквізити

Для вивчення даного курсу студент попередньо прослухати й успішно скласти на ступні дисципліни, що належать до фундаментальної фізико-математичної підготовки: «Математичний аналіз», «Аналітична геометрія та Лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Комплексний аналіз», «Теорія ймовірностей та Математична статистика» (або курс «Вища математика», що містить перелічені вище дисципліни як окремі розділи), «Механіка», «Молекулярна фізика» (або курс «Фізика» чи «Загальна фізика», що містить перелічені вище дисципліни як окремі розділи)

2. тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Математичний апарат теоретичної механіки

1. Вступ. Два формулювання законів механіки: векторна механіка і аналітична механіка.
2. Системи координат: декартові координати, криволінійні координати, узагальнені координати. Конфігураційний простір.
3. Основні характеристики криволінійних координат: координатні поверхні, координатні лінії, орт криволінійних координат, елемент довжини дуги, фундаментальний метричний тензор, коефіцієнти Ламе, зв'язок між ортами декартових і криволінійних координат. Криволінійні ортогональні координати на площині і в тривимірному просторі. Приклади криволінійних ортогональних координат на площині і в тривимірному просторі.
4. Швидкість і прискорення в криволінійних ортогональних координатах.
5. Основи варіаційного числення. Функціонал, теорема Ейлера–Лагранжа. Інваріантність рівняння Ейлера–Лагранжа відносно перетворення координат.

Розділ 2. Лагранжева та гамільтонова механіка

6. Принцип найменшої дії Гамільтона. Функція дії. Функція Лагранжа механічної системи. Виведення рівнянь Лагранжа за допомогою принципу найменшої дії. Узагальнений імпульс і узагальнена сила. Циклічні координати. Закон збереження узагальненого імпульсу. Час, як циклічна координата. Закон збереження енергії. Функція Гамільтона.

Приклади побудови функції Лагранжа і рівнянь Лагранжа для різних механічних систем.

7. Гамільтонова механіка. Перетворення Лежандра. Узагальнені координати та узагальнені імпульси, як незалежні змінні. Канонічно спряжені змінні. Фазовий простір. Рівняння Гамільтона (канонічні рівняння). Виведення закону збереження енергії виходячи з рівнянь Гамільтона. Приклади розв'язання задач методом Гамільтона. Порівняння із методом Лагранжа.

8. Повна похідна від функції координат, імпульсів і часу. Дужки Пуассона. Дужки Пуассона і закони збереження. Приклади обчислення дужок Пуассона. Комутатор двох

операторів – квантовий аналог дужок Пуассона. Доказ тотожності Якобі за допомогою комутаторів.

9. Канонічні перетворення. Перетворююча функція від різних пар канонічно спряжених. Приклади розв'язання задач за допомогою канонічних перетворень. Зв'язок канонічних перетворень з унітарними перетвореннями в квантовій механіці.

10. Дія, як функція координат. Рівняння Гамільтона–Якобі.

Повний інтеграл рівняння Гамільтона–Якобі.

11. Теорема Якобі.

12. Поділ змінних в рівнянні Гамільтона–Якобі в декартових, циліндричних, сферичних координатах і в довільних криволінійних ортогональних координатах.

Приклади розв'язання задач методом Гамільтона–Якобі: вільна частинка, частинка в однорідному полі, гармонічний осцилятор, задача Кеплера, сферичний маятник, потенціал Пешль–Теллера, модифікований потенціал Пешль–Теллера, потенціал Морзе та ін.

13. Класична та квантова механіка. Рівняння Гамільтона–Якобі в p -зображенні. Елементи гамільтонової оптики.

14. Особливості застосування варіаційних принципів в релятивістській механіці. Приклади: розв'язок релятивістської задачі Кеплера в релятивістському випадку, «релятивістський» осцилятор, рух в постійному однорідному електромагнітному полі.

Розділ 3. Основні поняття механіки суцільних середовищ

15. Поверхневі та масові сили, вектор напруження, формула Коши, тензор напруження.
16. Похідна за часом функції точки та інтегралу по об'єму.
17. Кінематика суцільних середовищ: спосіб Ейлера та спосіб Лагранжа.
18. Закон збереження маси і рівняння неперервності.
19. Закон зміни імпульсу. Тензор густини потоку імпульсу.
20. Закон зміни моменту імпульсу і симетрія тензору напруження.
21. Рівняння зміни кінетичної енергії.
22. Локально рівноважний стан. Основи термодинаміки та рівняння зміни внутрішньої енергії та ентропії.

Розділ 4. Ідеальна рідина

23. Рівняння руху ідеальної рідини.
24. Хвильове рівняння для звукової хвилі.
25. Залежність швидкості звуку від температури.
26. Плоска монохроматична звукова хвиля.
27. Власні коливання.

5. В'язка рідина

28. Тензор напруження для в'язких середовищ.
29. Рівняння Нав'є–Стокса.
30. Стаціонарні течії в'язкої рідини: течія Пуазейля, течія у полі тяжіння по похилій площині.
31. Дисперсія та поглинання звуку.

6. Теорія пружності

32. Термодинаміка деформування.
33. Вільна енергія кристалів та ізотропних тіл у випадку малих деформацій.
34. Пружні властивості кристалів. Вектор деформації.
35. Тензор деформації. Закони Гука для кристалів та ізотропного пружного тіла.
36. Однорідні деформації.
37. Рівняння рівноваги.
38. Крутіння стержню.
39. Вигин (згин) стержню.
40. Пружні хвилі у ізотропному середовищі.

41. Пружні хвилі у кристалах.
42. Поверхневі хвилі.
43. Рівняння теплопровідності в твердих тілах.
44. Теплопровідність кристалів.
45. В'язкість твердих тіл.
46. Поглинання звуку в твердих тілах.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Математичний апарат теоретичної механіки						
Тема 1	3.5	2				1.5
Тема 2	4.5	2				2.5
Тема 3	4.5	2				2.5
Тема 4	4.5	2				2.5
Тема 5	5.5	2				3.5
Разом за розділом 1	22.5	10				12.5
Розділ 2. Лагранжева та гамільтонова механіка						
Тема 6	5	2				3
Тема 7	6	3				3
Тема 8	6	3				3
Тема 9	6	3				3
Тема 10	6	3				3
Тема 11	5	2				3
Тема 12	6	2				4
Тема 13	6	2				4
Тема 14	6.5	2				4.5
Разом за розділом 2	52.5	22				30.5
Розділ 3. Основні поняття механіки суцільних середовищ						
Тема 15	2.5	1				1.5
Тема 16	2.5	1				1.5
Тема 17	2.5	1				1.5
Тема 18	2.5	1				1.5
Тема 19	2.5	1				1.5
Тема 20	2.5	0.5				2
Тема 21	2.5	0.5				2
Тема 22	2.5	0.5				2
Разом за розділом 3	20	6.5				13.5
Розділ 4. Ідеальна рідина						
Тема 23	2.5	2				0.5
Тема 24	2.5	2				0.5
Тема 25	2.5	2				0.5
Тема 26	2.5	2				0.5
Тема 27	2.5	2				0.5
Разом за розділом 2	12.5	10				2.5
5. В'язка рідина						
Тема 28	2.5	1.5				1

Тема 29	2.5	1.5				1
Тема 30	2.5	1.5				1
Тема 31	2.5	1				1.5
Разом за розділом 5	10	5.5				4.5
6. Теорія пружності						
Тема 32	2.5	0.5				2
Тема 33	2.5	0.5				2
Тема 34	2.5	0.5				2
Тема 35	2.5	0.5				2
Тема 36	2.5	0.5				2
Тема 37	2.5	0.5				2
Тема 38	2.5	0.5				2
Тема 39	2	0.5				1.5
Тема 40	2	0.5				1.5
Тема 41	2	0.5				1.5
Тема 42	2	1				1
Тема 43	2	1				1
Тема 44	2	1				1
Тема 45	1.5	1				0.5
Тема 46	1.5	1				0.5
Разом за розділом 6	32.5	10				22.5
Усього	150	64				86

4. Теми практичних занять (семінарів)

Не передбачені навчальним планом.

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 та монографіях;
2. Виконати домашні завдання

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Порівняти розв'язання задачі про математичний маятник методом Ньютона та за допомогою закону збереження енергії	1.5
2	Знайти в літературних джерелах приклади криволінійних координат	2.5
3	Обчислити фундаментальний метричний тензор для різних криволінійних ортогональних координат. Обчислити одиничні орти, елемент довжини дуги, побудувати координатні поверхні та координатні лінії. Приклади координат див. в [6].	2.5
4	Знайти проекції прискорення на осі циліндричних, сферичних та параболоїдних координат	2.5
5	Знайти функціональну похідну від функціоналу функції двох змінних.	3.5
6	Розв'язати задачу про сферичний маятник методом Лагранжа та методом Гамільтона. Знайти функцію Гамільтона релятивістської частинки в магнітному полі. Перейти до граничного випадку класичної механіки.	3

7	Навести приклади обчислення дужок Пуассона.	3
8	Знайти приклади перетворюючих функцій для різних пар канонічно спряжених змінних. Прочитати про зв'язок канонічних перетворень з унітарними перетвореннями в квантовій механіці.	3
9	Записати рівняння Гамільтона–Якобі для математичного та сферичного маятника, для подвійного маятника.	3
10	Знайти повний інтеграл Гамільтона–Якобі для математичного та сферичного маятника, для подвійного маятника.	3
11	Повторити доказ теореми Якобі.	3
12	Провести поділ змінних в рівнянні Гамільтона–Якобі в декартових, циліндричних, сферичних координатах і в довільних криволінійних ортогональних координатах для частинки у зовнішньому полі.	4
13	Розв'язати методом Гамільтона–Якобі задачу про частинки в полі тяжіння Землі, в гравітаційному полі (задача Кеплера), про рух точки в полі тяжіння Землі, яка рухається по поверхні конуса, потенціал Пешль–Теллера, модифікований потенціал Пешль–Теллера, потенціал Морзе та ін.	4
14	Записати та розв'язати рівняння Гамільтона–Якобі для частинки в однорідному полі та для гармонічного осцилятора в імпульсному зображенні.	4.5
15	Задача класичної теорії поля. Деформація.	1.5
16	Безперервність середовища.	1.5
17	Рух.	1.5
18	Матеріальний та просторовий опис.	1.5
19	Рівняння безперервності матерії та маси.	1.5
20	Багатокомпонентні континууми.	2
21	Загальні рівняння балансу.	2
22	Рівняння балансу маси.	2
23	Рівняння балансу заряду.	0.5
24	Рівняння руху.	0.5
25	Рівняння балансу імпульсу.	0.5
26	Механічна рівновага.	0.5
27	Рівняння балансу моменту кількості руху.	0.5
28	Рівняння балансу кінетичної енергії.	1
29	Рівняння балансу потенціальної енергії.	1
30	Рівняння балансу механічної енергії.	1
31	Локальні форми першого і другого законів термодинаміки.	1.5
32	Збереження енергії і рівняння балансу внутрішньої енергії.	2
33	Рівняння балансу ентропії та виробництво ентропії.	2
34	Лінійні кінематичні рівняння.	2
35	Співвідношення взаємності.	2
36	Принцип найменшого розсіювання енергії.	2
37	Нерівноважні потенціальні функції.	2
38	Локальні форми принципу.	2
39	Гаусова форма локального принципу.	2
40	Використання локального принципу.	2
41	Принцип мінімального виробництва ентропії.	2
42	Стаціонарні стани неперервних систем.	2.5
	Усього годин	86

6. Індивідуальні завдання

Курсова робота.

Запропоновані теми курсових робіт

Для наступних потенціальних енергій дослідити різними методами рух класичної нерелятивістської частинки в таких полях:

$$1. \quad U(x, y, z) = \frac{kx^2}{2} + \frac{\alpha}{\sqrt{y^2 + z^2}}; \quad k > 0, \alpha > 0.$$

$$U(x, y, z) = U_0 \left[\exp\left(-\frac{x}{a}\right) - 1 \right]^2 + \frac{k(y^2 + z^2)}{2}; \quad U_0 > 0, a > 0, k > 0.$$

$$2. \quad U(x, y, z) = \frac{\alpha}{x^2 + y^2} - \frac{U_0}{\operatorname{ch}^2\left(\frac{z}{a}\right)}; \quad \alpha > 0, U_0 > 0.$$

$$U(x, y, z) = \alpha x + \frac{ky^2}{2} + \frac{\beta}{z^2}, \quad \alpha > 0, k > 0, \beta > 0.$$

$$3. \quad U(x, y, z) = \frac{k(x^2 + y^2)}{2} - \alpha z, \quad k > 0, \alpha > 0.$$

$$U(x, y, z) = U_0 \operatorname{tg}^2\left(\frac{x}{a}\right) + \alpha y - \beta z, \quad U_0 > 0, \alpha > 0, \beta > 0.$$

4. Методом Лагранжа дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні конуса в полі тяжіння.
5. Методом Гамільтона дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні конуса в полі тяжіння.
6. Методом Гамільтона–Якобі дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні конуса в полі тяжіння.
7. Методом Лагранжа дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні сфери в полі тяжіння (сферичний маятник).
8. Дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні сфери в полі тяжіння (сферичний маятник)
9. Методом Гамільтона–Якобі дослідити рух класичної частинки, яка рухається по внутрішній поверхні сфери в полі тяжіння (сферичний маятник)
10. Дослідити рух «релятивістського» сферичного осцилятора з потенціальною енергією $U(\vec{r}) = \frac{kr^2}{2}$.

$$11. \quad \text{Дослідити рух релятивістської частинки в полі } U(\vec{r}) = -\frac{A}{r^2}, \quad A > 0.$$

7. Методи контролю

Підготовка письмової доповіді для виступу на семінарі, виступ на семінарі, контрольна робота, залік.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота								Залік	Сума
Розд. 1 (T1 -T5)	Розд. 2 (T6- T14)	Розд. 3 (T6- T14)	Розд. 4 (T6- T14)	Розд. 5 (T6- T14)	Розд. 6 (T6- T14)	Курсова робота	Разом		
10	10	5	5	5	5	20	60	40	100

Для зарахування розділів 1-2 треба набрати у підсумку не менше 5 балів, для зарахування розділів 3-6 – не менше 2.5 за результатами поточного опитування та перевірки завдань для самостійної роботи по темах 1-46, виконати та захистити курсову роботу (не менше 10 балів). За залікову письмову роботу студент повинен набрати не менше 20 балів та загалом 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. Lanczos C. The Variational Principles of Mechanics / C. Lanczos. – DOVER PUBLICATIONS, INC, 1986. – 418 p.
2. Ковальов О. С. Малі коливання. I. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Goldstein H. Classical mechanics / H. Goldstein, Poole C., Safko J. Addison Wesley, 2002. – 638 p.
6. Arnold V.I. Mathematical methods of Classical mechanics / V.I. Arnold. SpringerVerlag, 1989. – 516 p.
7. Landau L.D., Lifshitz E.M. Fluid Mechanics. Vol. 6 of Course Theoretical Physics. Oxford-New York-Toronto: Pergamon Press, 1987. – 551 p.
8. Landau L.D., Lifshits E.M. Theory of elasticity. Vol. 6 of Course Theoretical Physics. Oxford-New York-Toronto: Pergamon Press, 1982. – 236 p.

Допоміжна література

1. Morse P.M. Methods of Theoretical Physics. Part 1 / P.V. Morse, H. Feshbach. – McGrau-Hill Book Company, 1953. – 998 p.

2. Zwillinger D. Handbook of Differential Equations / D. Zwillinger. – Academic Press, 1997. – 856 p.
3. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Класична механіка та механіка суцільних середовищ» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня 104 «Фізика та астрономія»/укл. Харитонов О.А.– Кам'янське: ДДТУ, 2018 р. – 51 с.
4. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 290 с.: іл. – Бібліогр.: с. 284–285.

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

1. Учні матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики
<http://kaf-theorphys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Kovalyov.%20Mali%20kolyvannya.%20I.%20Liniyni%20kolyvannya.pdf>
http://kaf-theorphys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/Class_Dinam_Kovalev%20et%20al.pdf
2. Учні матеріали інших університетів
http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/mmf/mmf_book_b.pdf
http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/mmf/V.M.Adamyan_M.Ya.Sushko_Introduction_to_Mathematical_Physics_Calculus_of_Variations_and_Boundary_Value_Problems.pdf
http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/mmf/guide_mmf.pdf
3. Електронні варіанти деяких підручників у відкритому доступі
<https://ia903206.us.archive.org/4/items/landau-and-lifshitz-physics-textbooksseries/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-classicalmechanics-1989/v-arnold-mathematical-methods-of-classical-mechanics-1989.pdf>
https://ia800102.us.archive.org/3/items/morse_feshbach1/morse_feshbach1.pdf