

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Затверджено

на засіданні кафедри теоретичної фізики імені
професора Івана Вакарчука фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2022 р.)

Завідувач кафедри  проф. Ткачук В.М.

СИЛАБУС

**з навчальної дисципліни «Теоретична механіка і основи
механіки суцільного середовища», що викладається в межах
ОПП «Фізика та астрофізика», «Комп'ютерна фізика»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальностей 104 «Фізика та астрономія»**

Львів 2022

Назва дисципліни	Теоретична механіка і основи механіки суцільного середовища
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 «Природничі науки» Спеціальність – 104 «Фізика та астрономія»
Викладач дисципліни	Лектор: доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н., ст. наук. співр. Ігнатюк Василь Васильович
Контактна інформація викладача	vasyl.ignatyuk@lnu.edu.ua , wignatyuk@gmail.com
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/teoretychna-mehanika-i-osnovy-mehaniky-cutsilnyh-seredovysch-prykladna-fizyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Теоретична механіка і основи механіки суцільного середовища» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в V семестрі в обсязі 3,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Даний курс є логічним продовженням навчальної дисципліни «Вступ до теоретичної механіки». Він розроблений таким чином, щоб закріпити знання студентів, отримані впродовж ознайомлення зі «Вступом до теоретичної механіки», а також навчити їх розв'язувати задачі за допомогою ньютонівського, лагранжевого і гамільтонового формалізму теоретичної механіки і ознайомитись з основами фізики суцільного середовища. Програма складається із шести блоків: <ol style="list-style-type: none"> 1. Варіаційний принцип Гамільтона. 2. Канонічні перетворення та канонічні рівняння. 3. Теорія Гамільтона-Якобі. 4. Коливання. 5. Рух твердого тіла. 6. Механіка суцільного середовища.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Теоретична механіка і основи механіки суцільного середовища» є ознайомлення студентів із теоретичним описом механічних процесів в класичних багато-частинкових системах та неперервних середовищах, а також із різними математичними методами, що дозволяють їх досліджувати.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> 1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Механика. М.: «Наука», 1988, 215 с. 2. А. Ю. Глауберман, М. Т. Сеньків. Теоретична механіка. Львів, 1960, 220 с. 3. А. М. Федорченко. Теоретична механіка. Київ: «Вища школа», 1975, 516 с. 4. Н. Н. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. М.: «Наука», 1975, 574 с. 5. В. А. Алешкевич, Л. Г. Деденко, В. А. Караваев, Колебания и волны. М.: Изд. МГУ, 2001, 144 с. 6. Гаральд Іро. Класична Механіка, Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1999, 464с. 7. Бар'яхтар, І. В. Бар'яхтар, Л. П. Гермаш, С. О. Довгий. Механіка.

	<p>К.: “Наукова Думка”, 2011, 352с.</p> <p>8. Збірник задач з теоретичної механіки / М. В. Блажиєвська, А. А. Ровенчак, Н. А. Сідлецька, М. М. Стецко, В. М. Ткачук, Т. В. Фітьо.. Л.: ЛНУ імені Івана Франка”, 2011, 68 с.</p> <p>9. Н. Н. Ольховский, Ю. Г. Павленко, Л. С. Кузьменков. Задачи по теоретической механике для физиков. М.: Изд. МГУ, 1977, 392 с.</p> <p>Допоміжна:</p> <p>1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Гидродинамика. М.: “Наука”, 1986, 730с.</p> <p>2. Ю. Г. Павленко. Лекции по теоретической механике. М.: Изд. МГУ, 1991, 336с.</p> <p>3. М. А. Айзерман. Классическая механика. М.: “Наука”, 1974, 367 с.</p> <p>4. В. И. Арнольд, Математические методы классической механики. М.: “Наука”, 1979, 432с.</p> <p>Інформаційні ресурси Wikipedia. http://www.wikipedia.org</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	80 години аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 32 години практичних занять, та 25 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>СК16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.</p> <p>СК17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.</p> <p>СК20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.</p> <p>СК25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>ПРН01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики.</p> <p>ПРН04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії.</p> <p>ПРН05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПРН08. Мати базові навички самостійного навчання.</p> <p>ПРН13. Розуміти зв’язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками.</p> <p>ПРН16. 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</p>

	<p>астрономічних явищ і процесів.</p> <p>ПРН17. 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.</p> <p>ПРП23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.</p>
Ключові слова	<p>Принцип мінімальної дії, в'язі, екстремальність функціоналу, коваріантність, закони збереження, канонічні рівняння, канонічні перетворення, дужки Пуассона, твірна функція, фазовий простір, рівняння Ліувілля, фазові портрети, особливі та регулярні точки фазових портретів, резонанс, моди, биття, тензор інерції, прецесія, нутація, симетрична дзига, сили інерції, фізично безмежна мала частинка, суцільне середовище, деформація, нестислива рідина, ідеальні та реальні рідини, хвилі у суцільному середовищі, ударні хвилі, фазова та групова швидкість, магнітогідродинаміка.</p>
Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, практичних занять, коротких наукових доповідей студентів у формі презентації за темою вільного вибору, консультації для кращого розуміння тем.
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принцип мінімальної дії. Деякі наслідки варіаційного принципу Гамільтона. 2. Рівняння Гамільтона та канонічні перетворення. Теорія Гамільтона-Якобі. 3. Коливання з одним ступенем вільності. 4. Коливання з багатьма ступенями вільності. 5. Теоретичний формалізм опису руху твердого тіла. 6. Рух твердого тіла на прикладі певних механічних об'єктів. 7. Основні закони та поняття механіки суцільного середовища. 8. Теоретико-механічний опис суцільного середовища на прикладі певних систем.
Підсумковий контроль, форма	<p><i>Поточний контроль:</i> усне та письмове опитування, контрольні роботи, оцінка практичних завдань.</p> <p><i>Підсумковий контроль:</i> іспит в кінці 5-го семестру.</p> <p><i>Форма:</i> письмово-усний.</p>
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують ґрунтовних знань із дисциплін загальної фізики та вищої математики. Насамперед з механіки, математичного аналізу, аналітичної геометрії, диференціальних рівнянь.
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	<p>Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач.</p> <p>Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу рисунками, схемами, графіками та фрагментами наукових робіт.</p>
Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> – контрольні роботи за двома змістовими модулями, $2 \times 15 = 30$ балів; – робота на практичних заняттях – 10 балів; – самостійна робота (виконання домашніх завдань) – 5 балів; – підготовка короткої доповіді у вигляді презентації за темою вільного вибору – 5 балів; – іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів — 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають декілька видів</p>

	<p>письмових робіт (контрольні роботи, письмова частина іспиту).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами (у паперовому або електронному вигляді) виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних заняттях, самостійній роботі, при проведенні студентських презентацій та підсумковому іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студентів під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Підсумковий іспит відбувається у відкритій формі з вільним доступом до будь-яких джерел інформації.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до іспиту</p>	<p>I. <i>Принцип мінімальної дії.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рух системи тіл з в'язями. Типи в'язей. Типи переміщень. 2. Екстремальність функціоналу дії на дійсних траєкторіях. 3. Принцип мінімальної дії Гамільтона-Остроградського та рівняння Лагранжа 2-го роду. <p>II. <i>Деякі наслідки варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Функціонал дії та рівняння Лагранжа при наявності в'язей. 2. Коваріантність рівнянь Лагранжа. 3. Механічна подібність. 4. Теорема віріала. 5. Закони збереження та їх зв'язок з властивостями простору та часу. <p>III. <i>Рівняння Гамільтона.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Означення гамільтоніану системи. 2. Канонічні рівняння Гамільтона. 3. Функція Гамільтона вільної точки. 4. Дужки Пуассона. Фундаментальні дужки Пуассона. 5. Канонічні перетворення. Твірна функція канонічного перетворення. 6. Інваріантність дужок Пуассона по відношенню до канонічних перетворень.

	<p>7. Фазовий простір та теорема Ліувілля. Рівняння Ліувілля.</p> <p>8. Рівняння Гамільтона – Якобі (основні положення, принципи застосувань). Теорема Якобі.</p> <p>IV. <i>Коливання.</i></p> <p>1. Незагасаючі гармонічні коливання з однією ступінню вільності.</p> <p>2. Математичний та фізичний маятники.</p> <p>3. Нелінійні коливання математичного маятника.</p> <p>4. Додавання взаємно перпендикулярних коливань.</p> <p>5. Фазові портрети та типи особливих точок на фазових траєкторіях.</p> <p>6. Вільні коливання у системах з в'язким тертям: докритичний, критичний та закритичний режими. Вільні коливання у системах з сухим тертям.</p> <p>7. Вимушені коливання. Вимушені коливання при наявності тертя. Режими повільних, швидких та резонансних коливань.</p> <p>8. Амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики вимушених коливань.</p> <p>9. Установлені коливання.</p> <p>10. Параметричні коливання.</p> <p>11. Вільні незагасаючі коливання у системах з двома ступенями вільності. Поняття про парціальні та нормальні частоти. Биття як суперпозиція двох коливань. Загасання коливань та дисипація енергії.</p> <p>12. Коливання систем з багатьма ступенями вільності. Дисперсійні співвідношення.</p> <p>13. Рух в швидко осцилюючому полі. Задача про маятник Капіці як приклад методу усереднень. Маятник Капіці як модель дослідження динамічного хаосу.</p> <p>V. <i>Динаміка твердого тіла.</i></p> <p>1. Кутова швидкість.</p> <p>2. Тензор інерції. Момент інерції твердого тіла.</p> <p>3. Кути Ейлера та вільний рух симетричної дзиги.</p> <p>4. Кути обертання, прецесії та нутації. Явища прецесії та нутації симетричної дзиги (виключно якісне пояснення).</p> <p>5. Рівняння Ейлера.</p> <p>6. Умови рівноваги твердого тіла.</p> <p>7. Кочення твердих тіл по поверхні.</p> <p>8. Рух в неінерційній системі відліку. Сили інерції.</p> <p>VI. <i>Основні закони та поняття механіки суцільного середовища.</i></p> <p>1. Концепція фізично безмежно малої частинки, об'єму та полів.</p> <p>2. Кількісний опис деформації малої частинки.</p> <p>3. Закони збереження маси, імпульсу та енергії у задачах гідродинаміки.</p> <p>4. Основні рівняння механіки суцільного середовища.</p> <p>5. Рівняння руху ідеальної рідини.</p> <p>6. Потоки імпульсу та енергії.</p> <p>7. Звукові хвилі в ідеальній рідині.</p> <p>8. Рух з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі.</p> <p>9. Основні положення магнітогідродинаміки ідеальної рідини.</p> <p>10. В'язка рідина. Тензор напружень та рівняння руху. Рівняння Нав'є-Стокса.</p> <p>11. Поширення звуку та хвиль в'язкості у реальній рідині.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Теоретична механіка і основи механіки суцільного середовища»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	<i>Тема 1.</i> Рух системи тіл з в'язями. Типи в'язей. Типи переміщень. Узагальнені потенціальні сили. Екстремальність функціоналу дії на дійсних траєкторіях. Принцип мінімальної дії Гамільтона-Остроградського та рівняння Лагранжа 2-го роду. Функціонал дії при наявності в'язей. Коваріантність рівнянь Лагранжа. Механічна подібність. Теорема віріала. Закони збереження та їх зв'язок з властивостями простору та часу. Означення гамільтоніану системи. Канонічні рівняння Гамільтона. Дужки Пуассона. Властивості дужок Пуассона. Інваріантність дужок Пуассона.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 4 год.	2 тижні
3–4	<i>Тема 2.</i> Функція Рауса. Дія як функція координат. Принцип Мопертюї. Канонічні перетворення. Твірна функція канонічного перетворення. Рух системи як канонічне перетворення. Теорема Ліувілля. Рух фазової рідини. Рівняння Ліувілля. Рівняння Гамільтона-Якобі. Теорема Якобі. Метод розділення змінних. Геометрична інтерпретація дії.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні
5–6	<i>Тема 3.</i> Незагасаючі гармонічні коливання з однією ступінню вільності. Негармонічні коливання. Вільні коливання у системах з в'язким тертям. Динамічні режими та фазові портрети. Вільні коливання у системах з сухим тертям. Вимушені коливання. Вимушені коливання при наявності тертя. Режими повільних, швидких та резонансних коливань. Амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики. Установлення коливань. Параметричні коливання.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні
7–8	<i>Тема 4.</i> Вимушені коливання системи з двома ступенями вільності при наявності тертя. Коливання систем з багатьма ступенями вільності. Дисперсійні співвідношення. Гармонічні коливання у атомарних та молекулярних системах. Задача про маятник Капіці як приклад методу усереднень. Маятник Капіці як модель дослідження динамічного хаосу.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні
9–10	<i>Тема 5.</i> Кутова швидкість. Тензор інерції. Момент імпульсу. Прецесія симетричної дзиги. Рівняння руху твердого тіла. Кути Ейлера. Кути Ейлера та вільний рух симетричної дзиги. Кути обертання, прецесії та нутації.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні
11–12	<i>Тема 6.</i> Рівняння Ейлера. Задача про рух важкої симетричної дзиги з нерухомою нижньою точкою. Гіроскоп. Динаміка при торканні твердих тіл. Реакції опори. Голономні та неголономні в'язі. Рух в неінерційній системі відліку.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
13–14	<u>Тема 7.</u> Концепція фізично безмежно малої частинки. Концепція поля. Деформація малої частинки. Тензори деформацій та повороту. Закон збереження маси. Закон збереження імпульсу. Основні рівняння механіки суцільного середовища. Рівняння для кінетичної енергії. Закон збереження енергії.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні
15–16	<u>Тема 8.</u> Рівняння руху ідеальної рідини. Потоки імпульсу та енергії. Нестислива рідина. Звукові хвилі в ідеальній рідині. Рух з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі. Магнітогідродинаміка ідеальної рідини. Хвилі Альфвена. В'язка рідина. Тензор напружень та рівняння руху. Рівняння Нав'є-Стокса. Малі коливання у в'язкій рідині.	Лекції — 6 год, практ. заняття — 4, самостійна робота — 3 год.	2 тижні