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 01.09.2025 р.)

Завідувач кафедри Володимир ТКАЧУК

СИЛАБУС
з навчальної дисципліни «Теоретична механіка та основи механіки суцільного середовища», що викладається в межах ОП «Квантові комп'ютери та квантове програмування» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів зі спеціальностей 104 «Фізика та астрономія»

Львів 2025

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: Ігнатюк В.В., доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н., ст. наук. співр. Практичні заняття проводить Верхоляк Т.М., проф. кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д.ф.-м.н., ст. досл.
Контактна інформація викладача	vasyl.ignatyuk@lnu.edu.ua, wignatyuk@gmail.com, werch@icmp.lviv.ua
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.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/teoretychna-mekhanika-i-osnovy-mekhaniky-cutsilnykh-seredovyshch-104-fizyka-ta-astronomiia-op-kvantovi-komp-iutery-ta-kvantove-prohramuvannia
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Теоретична механіка та основи механіки суцільного середовища» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра ОП «Квантові комп'ютери та квантове програмування» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в V семестрі в обсязі 9 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Даний розроблений таким чином, щоб дати студентам грунтовні знання з теоретичної механіки як передумови успішного оволодіння у наступних семестрах квантовою механікою; відтак – навчити студентів розв'язувати задачі за допомогою ньютонівського, лаґранжевого і гамільтонового формалізму теоретичної механіки і ознайомитись з основами фізики суцільного середовища. Програма складається із восьми блоків: 1. Основні поняття та закони механіки: закони зміни та збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії матеріальної точки та системи матеріальних точок. 2. Рух у центрально-симетричному полі. 3. Лагранжевий формалізм у теоретичній механіці. 4. Принцип мінімальної дії Гамільтона-Остроградського та деякі його наслідки. 5. Гамільтоновий формалізм у теоретичній механіці. 6. Коливання. 7. Динаміка твердого тіла. 8. Основні закони та поняття механіки суцільного середовища.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Теоретична механіка та 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:** 1. *А. Ю. Глауберман, М. Т. Сеньків*. Теоретична механіка. Львів, 1960, 220 с. 2. *А. М. Федорченко.* Теоретична механіка. Київ: "Вища школа", 1975,

	516 с. 3. *Бар'яхтар, І. В. Бар'яхтар, Л. П. Гермаш, С. О. Довгий*. Механіка. К.: "Наукова Думка", 2011, 352с. 4. 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. **Допоміжна:** 1. *Г. Іро*. Класична Механіка, Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1999, 464с. Інформаційні ресурси 1. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	270 годин, з яких 112 годин аудиторних занять, з них 64 години лекцій, 48 годин практичних занять та 158 година самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК): *Загальні компетентності:* ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК06. Навички міжособистісної взаємодії.. *Спеціальні компетентності:* СК16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. СК18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів. СК21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси. СК23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. СК24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. СК25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. СК26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю. СК28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. *Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:* ПРН01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики. ПРН03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. ПРН04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії. ПРН05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії. ПРН06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.

	ПРН08. 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. ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки. ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження. ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками. 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 астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів. ПРН24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.
Ключові слова	Декартові та криволінійні координати, параметри Ламе, метричний тензор, інерційні та неінерційні системи відліку, швидкість, прискорення, закони збереження, центр маси системи матеріальних точок, центральні сили, вільний та зв'язаний рух точки, в'язі, сили реакції в'язей, внутрішні та зовнішні сили, потенціальні, гіроскопічні та дисипативні сили, кінетична та потенціальна енергія, узагальнені сили та потенціали, сили тертя. Принцип мінімальної дії, в'язі, екстремаль–ність 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 дзиґа, сили інерції. Рівняння Ейлера ідеальної рідини, рівняння Нав'є-Стокса реальної рідини, звукові хвилі, ударні хвилі.
Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, практичних занять, коротких наукових доповідей студентів у формі презентації за темою вільного вибору, консультації для кращого розуміння тем.
Теми	1. Основні поняття та закони механіки. Закони зміни та збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії матеріальної точки (і системи матеріальних точок). 2. Рух у центрально-симетричному полі. 3. Лагранжевий формалізм у теоретичній механіці. 4. Принцип мінімальної дії. Деякі наслідки варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського. 5. Гамільтоновий формалізм у теоретичній механіці. 6. Коливання. 7. Динаміка твердого тіла. 8. Основні закони та поняття механіки суцільного середовища.
Підсумковий контроль, форма	*Поточний контроль:* усне та письмове опитування, контрольні роботи, оцінка практичних завдань. *Підсумковий контроль*: іспит в кінці 4-го семестру. *Форма:* письмово-усний.

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	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу рисунками, схемами, графіками та фрагментами наукових робіт.
Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: – контрольні роботи за двома змістовими модулями, 2×15 = 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. Підсумкова максимальна кількість балів — 100. **Письмові роботи**: Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (контрольні роботи, письмова частина іспиту). **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 незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **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. **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. **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 запізнень 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.

	Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.
Питання до іспиту	*І. Основні поняття та закони механіки* 1. Криволінійні координати. Швидкість та прискорення в криволінійних координатах. 2. Природній спосіб задання руху точки. Тангенціальне та нормальне прискорення. Радіус кривизни траєкторії. 3. Поняття про силу та масу. 4. Поняття про інерційну системи відліку та закони Ньютона. 5. Принцип відносності Галілея та перетворення Галілея. *ІІ. Закони зміни та збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії матеріальної точки (системи матеріальних точок).* *ІІІ. Рух у центрально-симетричному полі.* 1. Інтеграли руху. 2. Якісний та кількісний аналіз руху матеріальної точки в центральному полі. 3. Умови падіння на центр силового поля та замкнутості траєкторії. 4. Рух під дією сили, обернено пропорційної квадрату відстані від силового центру. 5. Закони Кеплера. *ІV. Лагранжевий формалізм у теоретичній механіці.* 1. Рух системи тіл з в'язями. Типи в'язей. Типи переміщень. 2. Принцип Даламбера. Рівняння Даламбера. 3. Рівняння Лагранжа 1-го та 2-го роду. 4. Поняття про узагальнені незалежні координати та узагальнені потенціальні сили. 5. Рівняння Лагранжа 2-го роду в узагальнених незалежних координатах. *V. Принцип мінімальної дії.* 1. Екстремальність функціоналу дії на дійсних траєкторіях. 2. Принцип мінімальної дії Гамільтона-Остроградського та рівняння Лагранжа 2-го роду. *VI. Деякі наслідки варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського.* 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. *VII. Формалізм Гамільтона.* 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. 7. Фазовий простір та теорема Ліувілля. Рівняння Ліувілля. 8. Рівняння Гамільтона – Якобі. Теорема Якобі. *VIII. Коливання.* 1. Незагасаючі гармонічні коливання з однією ступінню вільності.

	2. Математичний та фізичний маятники. 3. Нелінійні коливання математичного маятника. 4. Додавання взаємно перпендикулярних коливань. 5. Фазові портрети та типи особливих точок на фазових траєкторіях. 6. Вільні коливання у системах з в'язким тертям: докритичний, критичний та закритичний режими. Вільні коливання у системах з сухим тертям. 7. Вимушені коливання. Вимушені коливання при наявності тертя. Режими повільних, швидких та резонансних коливань. 8. Амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики вимушених коливань. 9. Установлені коливання. 10. Параметричні коливання. 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. 12. Коливання систем з багатьма ступенями вільності. Дисперсійні спів¬ відношення. 13. Рух в швидко осцилюючому полі. Задача про маятник Капіци як приклад методу усереднень. Маятник Капіци як модель дослідження динамічного хаосу. *IX. Динаміка твердого тіла.* 1. Кутова швидкість. 2. Тензор інерції. Момент інерції твердого тіла. 3. Кути Ейлера та вільний рух симетричної дзиги. 4. Кути обертання, прецесії та нутації. Явища прецесії та нутації симетричної дзиги (виключно якісне пояснення). 5. Рівняння Ейлера. 6. Кочення твердих тіл по поверхні. 7. Рух в неінерційній системі відліку. Сили інерції. *X. Основні закони та поняття механіки суцільного середовища.* 1. Концепції фізично безмежно малої частинки, об'єму та полів. 2. Кількісний опис деформації малої частинки. 3. Закони збереження маси, імпульсу та енергії у задачах гідродинаміки. 4. Основні рівняння механіки суцільного середовища. 5. Рівняння руху ідеальної рідини. 6. Потоки імпульсу та енергії. 7. Звукові хвилі в ідеальній рідині. 8. Рух з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі. 9. В'язка рідина. Тензор напружень та рівняння руху. Рівняння Нав'є-Стокса. 10. Поширення звуку та хвиль в'язкості у реальній рідині.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Теоретична механіка та основи механіки суцільного середовища»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	*Тема 1.* Поняття про матеріальну точку, простір та час. Кінематика точки. Швидкість і прискорення в криволінійних координатах. Природній спосіб задання руху точки. Тангенціальне та нормальне прискорення. Радіус кривизни траєкторії. Поняття про силу та масу. Поняття про інерційну системи відліку та закони Ньютона. Принцип відносності Галілея. Перетворення Галілея. Розв'язок рівнянь руху та інтеграли руху.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -19 год.	2 тижні
3–4	*Тема 2.* Одновимірний рух. Задача двох тіл. Рух у центральному полі. Визначення потенціальної енергії за періодом коливань. Задача Кеплера. Закони Кеплера.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -19 год.	2 тижні
5–6	*Тема 3.* Основна задача динаміки зв'язаної точки та поняття про в'язі. Типи в'язей та їх класифікація. Принцип Даламбера. Рівняння Лагранжа I роду. Узагальнені швидкості та координати. Узагальнені сили. Рівняння Лагранжа II роду. Рівняння Лагранжа II роду при наявності сил дисипації.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -20 год.	2 тижні
7–8	*Тема 4.* 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 властивос¬тями простору та часу.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 5, самостійна робота -20 год., контрольна робота – 1 год.	2 тижні
9–10	*Тема 5.* Означення гамільтоніану системи. Канонічні рівняння Гамільтона. Дужки Пуассона. Властивості дужок Пуассона. Інваріантність дужок Пуассона. Функція Рауса. Дія як функція координат. 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 - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -20 год.	2 тижні
11–12	*Тема 6.* 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	Лекції - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -20 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	характеристики. Установлення коливань. Параметричні коливання. Вимушені коливання системи з двома ступенями вільності при наявності тертя. Коливання систем з багатьма ступенями вільності. Дисперсійні співвідношення. Задача про маятник Капіци як приклад методу усереднень. Маятник Капіци як модель дослідження динамічного хаосу.		
13–14	*Тема 7.* 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. Рівняння Ейлера. Задача про рух важкої симетричної дзиги з нерухомою нижньою точкою. Динаміка при торканні твердих тіл. Реакції опори. Голономні та неголономні в'язі. Рух в неінерційній системі відліку.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 6, самостійна робота -20 год.	2 тижні
15–16	*Тема 8.* 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. Рівняння руху ідеальної рідини. Потоки імпульсу та енергії. Нестислива рідина. Звукові хвилі в ідеальній рідині. Рух з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі. В'язка рідина. Тензор напружень та рівняння руху. Рівняння Нав'є-Стокса. Малі коливання у в'язкій рідині.	Лекції - 8 год, практ. заняття - 5, самостійна робота -20 год., контрольна робота – 1 год.	2 тижні