

Структура електронного методичного курсу з предмету “Механіка”

Кінематика

Тема 1. Кінематика матеріальної точки.

1. Системи відліку.
2. Кінематичний опис руху матеріальної точки.
3. Тангенціальне і нормальне прискорення.
4. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.
5. Розмірності механічних величин і одиниці вимірювання.

=====

[Відео Лекції 1](#)

Опис: У лекції описано основні завдання фізики, експеримент та спостереження - як її основу, а також зв'язок цієї науки з математикою.

Введено поняття основних методів досліджень у фізиці та астрономії: експериментального, теоретичного та модельного.

Описано поділ фізики на розділи та зроблено вступ до першого її розділу - Механіки.

Наведено структуру курсу Механіка. Введено поняття механічного руху та описано основи кінематичного підходу до його опису.

Введено поняття системи відліку та таких модельних об'єктів, як матеріальна точка (МТ) та абсолютно тверде тіло (АТТ).

Наведено основні властивості векторів та операції над ними, введено поняття базисних векторів радіус-вектора.

Описано декартову, циліндричну, полярну та сферичну системи координат та зв'язки між їх базисними векторами.

Параметричний та явний запис рівняння траєкторії.

=====

[Відео Лекції 2](#)

Опис: У лекції введено поняття швидкості (середньої та миттєвої) та прискорення. Описано можливість розбиття будь-якої складної траєкторії руху на ділянки, де МТ рухатиметься прямолінійно, або ж по колу.

Описано пряму задачу механіки (визначення швидкості та прискорення при відомій залежності радіус-вектора МТ від часу).

Отримано вирази для прискорення у різних системах координат.

Отримано вирази для визначення тангенціальної та нормальної складових прискорення.

Розглянуто рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.

Описано розмірності фізичних величин та одиниці їх вимірювання.

Динаміка матеріальної точки

Тема 2. Рівняння руху матеріальної точки і закони збереження.

1. Закони Ньютона.
2. Визначення кількості збережуваних величин (фазовий простір).
3. Закон збереження енергії.
4. Рух тіла змінної маси. Ракети.
5. Сили в механіці.

Тема 3. Коливний рух матеріальної точки.

1. Умови виникнення коливань.
2. Гармонічний осцилятор.
3. Згасаючі коливання осцилятора.
4. Вимушені коливання осцилятора.
5. Математичний маятник.
6. Суперпозиція одновимірних коливань одного напрямку.

Тема 4. Обертальний рух матеріальної точки.

1. Обертання матеріальної точки навколо осі. Момент сили та момент імпульсу.
2. Закон збереження моменту імпульсу.
3. Два еквівалентні способи опису обертового руху матеріальної точки.

Тема 5. Рух матеріальної точки у полі центральних сил.

1. Рух матеріальної точки у полі гравітуючої маси.
2. Закони Кеплера.
3. Космічні швидкості. Сфера впливу Землі.
4. Рух променя у гравітаційному полі зорі.

Тема 6. Заміна систем відліку.

1. Принцип відносності Галілея.
2. Неінерційні системи відліку.
3. Обертові системи відліку у циліндричних координатах.
4. Земля як неінерційна система відліку.
5. Маятник Фуко.
6. Прискорення вільного падіння.

=====

[Відео Лекції 3](#)

Опис. Обернена задача механіки (ще трішки Кінематики перед Динамікою).

Закони Ньютона. Конфігураційний та фазовий простір (визначення кількості збережуваних величин).

Закон збереження енергії, консервативне поле сил, кінетична та потенціальна енергія (з відеодемонстрацією). Оператор градієнта та зв'язок між силою та потенціальною енергією. Закон всесвітнього тяжіння.

Рух тіла змінної маси (з відеодемонстраціями) та виводом рівняння руху. Відповіді на запитання (уява та сила математики). Ракети.

=====

[Відео Лекції 4](#)

Опис. Рух ракети у вільному просторі: формула та число Ціолковського, різні типи ракетних двигунів, рух ракети в режимі постійного прискорення, час руху ракети. Рух ракети в режимі сталого прискорення у гравітаційному полі Землі: друга формула Ціолковського, роль атмосфери.

Фундаментальні взаємодії та сили в Механіці.

Одновимірний рух матеріальної точки. Загальні властивості. Потенціали та точки повороту. Умови виникнення коливного руху МТ, період коливань. Фазові траєкторії для випадку руху з одною та двома точками повороту, фазові портрети руху МТ при заданій формі потенціалу (приклад двоямного потенціалу). Гармонічний осцилятор.

=====

[Відео Лекції 5](#)

Опис. Рівняння гармонічного осцилятора та його розв'язки при різних початкових умовах. Амплітуда, початкова фаза, фаза та частота коливань. Повна енергія гармонічного осцилятора. Фазова траєкторія гармонічного осцилятора.

Загасаючі коливання осцилятора. Квазіпружна сила та рівняння загасаючих коливань і його розв'язок. Коефіцієнт загасання, декремент та логарифмічний декремент загасання.

Вимушені коливання осцилятора. Зовнішня періодична сила та рівняння вимушених коливань та його загальний розв'язок. Можливі еволюції вимушених коливань. Явище резонансу.

Математичний маятник.

=====

[Відео Лекції 6](#)

Опис. Рівняння руху математичного маятника та його розв'язки при малих та довільних коливаннях Період коливань математичного маятника.. натяг нитки маятника, як функція часу.

Суперпозиція одновимірних коливань одного напрямку. Явище биття. Зв'язок періода результуючого коливання з періодами коливань, які через суперпозицію його утворили. Обернена задача - розклад періодичної функції у ряд Фур'є за гармонічними функціями (гармонічний аналіз, основна гармоніка та обертони).

Обертальний рух матеріальної точки. Аксіальні вектори: кутова швидкість та кутове прискорення, момент імпульсу, момент сили.

Відповіді на запитання.

=====

[Відео Лекції 7](#)

Опис. Основне рівняння динаміки обертового руху. Момент інерції МТ. Закон збереження моменту імпульсу. Поле центральних сил.

Два еквівалентні способи опису обертального руху МТ, опис руху математичного маятника за допомогою моментів сили та інерції

Рух МТ у полі центральних сил. Рух МТ у полі гравітуючої маси: вивід рівняння руху та рівняння траєкторії пробної частинки з рівняння руху та з рівняння збереження енергії, ефективний потенціал. Порівняльний графічний аналіз потенціалу з формою траєкторій, значення енергії та точки повороту. Рівняння траєкторії та ексцентриситет: параболічний, гіперболічний та еліптичний рух.

Відповіді на запитання.

=====

[Відео Лекції 8](#)

Опис. Рівняння траєкторії МТ у полі центральних сил (продовження):.

Закони Кеплера та їх зв'язок з законами збереження, секторіальна швидкість планети. Ротаційна крива галактик, темна матерія. Рух планет: закон Тіциуса_Боде, параметри орбіт планет у Сонячній системі.

Сфера притягання Землі відносно Сонця (статична гравітаційна сфера). Динамічна гравітаційна сфера дії Землі (сфера впливу Землі).

Про модульні контрольні роботи.

=====

[Відео Лекції 9](#)

Опис. Детальніше про структуру курсу Механіка (у зв'язку з близькістю першої модульної контрольної роботи).

Космічні швидкості. Супутники: параметри орбіт та основи їх визначення.

Рух променя у гравітаційному полі зорі: траєкторія фотона, формула Зольднера, Астрономічне визначення відхилення променя далекої зорі Сонцем. Похибка ньютонівської динаміки та необхідність нової, більш точної теорії (про основи Загальної теорії відносності). Гравітаційні лінзи.

Заміна систем відліку. Ще раз про системи відліку. Принцип відносності Галілея, інерційні системи відліку.

=====

[Відео Лекції 10](#)

Опис. Інерційні закони відліку та закони Ньютона.

Неінерційні системи відліку. Сила інерції. Прямолінійний рух. Обертальний рух: відцентрова сила та сила Коріоліса (загальний випадок та граничні випадки - рівномірне обертання та

нерухомість МТ у рухомій системі координат). Приклади неінерційних систем відліку. Земля як неінерційна система відліку: закон Бера, вплив сили Коріоліса на рух тіл над поверхнею Землі, падіння тіл з довільних висот (траєкторії тіл, що вільно падають на Землю у неінерційній системі відліку, умова їх падіння на поверхню Землі).

[Відео Лекції 11](#)

Опис. Траєкторії тіл, що вільно падають на Землю у неінерційній системі відліку, умова їх падіння на поверхню Землі (продовження). Порівняння траєкторій вільного падіння тіл у неінерційній та інерційній системах відліку, відхилення траєкторій від вертикалу.

Траєкторії у неінерційній системі відліку тіл, що не падають на Землю, а є її супутниками.

Маятник Фуко. Рівняння руху маятника Фуко, що знаходиться на полюсі, повертання площини коливання маятника Фуко в неінерційній системі відліку. Траєкторія маятника Фуко при різних початкових умовах.

[Відео Лекції 12](#)

Опис. Траєкторія маятника Фуко, що знаходиться на полюсі, при різних початкових умовах (продовження). Залежність траєкторії маятника Фуко, від географічної широти. Маятник Фуко в режимі обертання: видимий період руху маятника у неінерційній системі відліку в залежності від напрямку обертання. Сидеричні та синодичні періоди обертань планет.

Прискорення вільного падіння, його залежності від географічної широти у випадку апроксимації форми Землі сферою та еліпсоїдом.

Контрольна тестова модульна робота №1 (доступна для авторизованих користувачів на платформі “Електронне навчання” ЛНУ ім. І.Франка).

Основи спеціальної теорії відносності

Тема 7. Постулати СТВ. Перетворення Лоренца.

1. Передумови виникнення спеціальної теорії відносності.
2. Постулати спеціальної теорії відносності.
3. Перетворення Лоренца.

Тема 8. Кінематичні ефекти спеціальної теорії відносності.

1. Перетворення швидкостей і прискорень.
2. Простір Мінковського.

Тема 9. Релятивістське рівняння руху.

Тема 10. Маса у спеціальній теорії відносності. Енергія зв'язку.

[Відео Лекції 13](#)

Опис. Простір і час класичної фізики, повсякденний досвід та здоровий глузд. Фізика розширює межі повсякденного досвіду та змінює поняття здорового глузду. Передумови виникнення спеціальної теорії відносності (СТВ). Вимірювання швидкостей світла. Аберация зір. Опис шляху Лоренца при отриманні названих його іменем перетворень. Гіпотеза ефіру. Дослід Майкельсона та Морлі і його модернізації.

Постулати спеціальної теорії відносності. Вимірювання часу. Перетворення Лоренца.

=====

[Відео Лекції 14](#)

Опис. Перетворення масштабів, власна та координатна довжини. Відносність проміжків часу між подіями, власний та координатний часи, експериментальні підтвердження. Парадокс близнюків та його розв'язання (з відео-демонстрацією).

Перетворення швидкостей та прискорень у СТВ.

=====

[Відео Лекції 15](#)

Опис. Прості-час Мінковського. Інваріантність фізичних законів відносно перетворень Лоренца. Інваріанти перетворень Лоренца.

Релятивістське рівняння руху. Вектор енергії-імпульсу. Залежність енергії релятивістської частинки від імпульсу. Закон збереження повної енергії релятивістської частинки.

До питання про так звану релятивістську масу.

Маса спокою, енергія зв'язку атомного ядра. Зоряний термоядерний синтез, основи нуклеосинтезу у Всесвіті.

Системи матеріальних точок.

Тема 11. Система двох матеріальних точок.

1. Центр мас. Система центра мас.
2. Закони збереження.
3. Рух двох гравітуючих мас.

Тема 12. Механіка твердого тіла.

1. Обертання твердого тіла навколо нерухомої осі.
2. Моменти інерції твердих тіл простої форми.
3. Теорема Гюйгенса-Штейнера.
4. Обертання твердого тіла навколо центра мас.
5. Фізичний маятник.
6. Гіроскопи.
7. Деформації твердого тіла.

=====

[Відео Лекції 16](#)

Опис. Контрольна тестова модульна робота №2 (доступна для авторизованих користувачів на платформі “Електронне навчання” ЛНУ ім. І.Франка).

(Починаючи з 21хв. 47с) **Механіка системи двох матеріальних точок.** Центр мас, система центра мас, Закони збереження. Перехід до системи N МТ.

Рух двох гравітуючих мас. Зведена маса. Рух центра мас. Положення центра мас в астрономічних системах, рух подвійних систем з різними характеристиками. Основи пошуку планет біля інших зір.

=====

[Відео Лекції 17](#)

Опис. Уточнення третього закону Кеплера.

Обертання твердого тіла. Модель абсолютно твердого тіла (АТТ). Обертання АТТ навколо нерухомої осі. Основне рівняння динаміки АТТ. Крісло Жуковського (відео-демонстрація) та основи орієнтація космічних апаратів. Момент імпульсу та момент сили системи матеріальних точок (СМТ). Теорема про рух центра мас (теорема Кьоніга). Осьове обертання пульсарів.

Основи визначення моментів інерції тіл.

Рух АТТ відносно декількох осей обертання, тензор інерції.

=====

[Відео Лекції 18](#)

Опис. Тензор інерції (продовження). Теорема Штейнера.

Кінетична енергія АТТ, що рухається поступально та обертається.

Фізичний маятник.

Гіроскоп: гіроскопічний ефект, прецесія гіроскопа під дією сили тяжіння, застосування.

Деформації твердого тіла. Види деформацій (лінійна, зсуву). Тензорний запис деформації. Природа деформацій (пружна та залишкові деформації). Залежність напруження від деформації (пружна та пластична області, розрив). Деформація зсуву. Тензор деформації, компоненти тензора деформації у сферичній системі координат. Закон Гука для одновимірного та тривимірного напруженого стану., строга форма запису закону Гука. Тензор механічних напружень, напруження стиску-розтягу та зсуву.

=====

[Відео Лекції 19](#)

Опис. Коефіцієнт Пуассона.

Контрольна тестова модульна робота №3 (доступна для авторизованих користувачів на платформі “Електронне навчання” ЛНУ ім. І.Франка).

Динаміка пружних середовищ.

Тема 13. Явища переносу.

1. Стани речовини.

2. Рівняння переносу.
3. Дифузія, теплопровідність та в'язкість.

Тема 14. Поширення хвиль у пружних середовищах.

1. Повздовжні та поперечні хвилі.
2. Інтерференція хвиль. Стояча хвиля.
3. Звук. Елементи акустики.
4. Хвильове рівняння.

Тема 15. Динаміка неперервних середовищ.

1. Рівняння неперервності.
2. Рівняння Бернуллі і його застосування.
3. Рівняння збереження імпульсу.
4. Рівняння збереження енергії.
5. Рівняння Нав'є-Стокса.

=====

[Відео Лекції 19](#)

Опис, починаючи 22хв. 20с: Стани речовини. рівняння неперервності для ідеальної нестисливої рідини.

Рівняння Бернуллі, динамічний, гідравлічний та статичний тиск. Приклади застосування рівняння Бернуллі: гідротурбіна, гідротаран, водоструменева помпа, аерація ґрунтів, трубка Вентурі, трубка Піто, сирена Клемана-Дезорма (відео-демонстрація), притягування двох листків з потоком повітря між ними, кулька у повітряному потоці ("левітація" кульки, відео-демонстрація), ефект Магнуса та модель судна Флетнера (відео-демонстрації).

=====

[Відео Лекції 20](#)

Опис. Явища переносу, рівняння переносу у загальному випадку. Дифузія, рівняння дифузії (закон Фіка), коефіцієнт дифузії. В'язкість, рівняння для внутрішнього тертя (закон Ньютона), коефіцієнт в'язкості. Теплопровідність, рівняння теплопровідності (закон Фур'є), коефіцієнт теплопровідності.

Формуло Торічеллі.

=====

[Відео Лекції 21](#)

Опис. Ще раз про значення коефіцієнта теплопровідності.

Рівняння Ейлера (різні форми запису) та рівняння неперервності для стислої рідини.

Закон Пуазейля. Закон Стокса та визначення в'язкості рідини. Ламінарна та турбулентна течії, число Рейнольдса. Число Струхала. Число Фруда.

Про Іспит.

=====

[Відео Лекції 22](#)

Опис. Основи аеродинаміки (фізика польоту, відео-демонстрація).

Омивання рідиною твердого тіла.

Рух рідини в трубах. Формула Фарсі-Вейсбаха. Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя за довжиною.

Хвилі у суцільному (неперервному) середовищі та елементи акустики. Повздовжні та поперечні хвилі (відео-демонстрація).

=====

[Відео Лекцій 23-24](#)

Опис. Рівняння хвилі. Хвильове рівняння. Розподіл зміщень, швидкостей та прискорень у біжучій хвилі. Швидкість поширення хвиль у пружному середовищі, швидкість звуку. Енергія хвилі. Об'ємна густина енергії хвилі, густина потоку енергії.

Інтерференція хвиль. Стояча хвиля.

Теми на самостійне опрацювання.

Контрольна тестова модульна робота №4 (доступна для авторизованих користувачів на платформі “Електронне навчання” ЛНУ ім. І.Франка).

Лабораторні роботи

[Відео виконання лабораторної роботи №112](#)

[Відео виконання лабораторної роботи №114 \(частини 1-2\)](#). [Відео виконання лабораторної роботи №114 \(частина 3\)](#)

[Відео виконання лабораторної роботи №115 \(частина 1\)](#). [Відео виконання лабораторної роботи №115 \(частина 2\)](#).

[Відео виконання лабораторної роботи №118](#)

[Відео виконання лабораторної роботи №120А](#)

[Відео виконання лабораторної роботи №122](#)

Розв'язування задач з Механіки

Для практичних занять з Механіки викладачі кафедри астрофізики опублікували наступний навчальний посібник, у якому наведені не тільки правильні розв'язки задач з Механіки, але й наведений шлях (чи шляхи) отримання цих розв'язків:

[М.В. Ваврух, С.В. Смеречинський, О.М. Стельмах, Н.Л. Тишко. Збірник задач з механіки: Навчальний посібник — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. — 285 с.](#)