

Программа курса «Классическая механика»

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В ФОРМЕ НЬЮТОНА И ЛАГРАНЖА. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.

1. Исторический обзор начального этапа развития механики. Основные принципы классической механики. Свойства пространства и времени. Первые формулировки механических законов. Механика как эмпирическая наука. Законы Кеплера небесной механики. Принцип относительности Галилея. Инерциальные системы отсчета. Преобразования Галилея.
2. Ньютон и Гук. Закон всемирного тяготения. Принцип детерминизм и начальные условия. Законы Ньютона и уравнения движения материальной точки в форме Ньютона. Понятие материальной точки, скорости, ускорения, силы и энергии. Решения уравнений Ньютона и законы Кеплера.
3. Лагранжев подход к аналитической механике. Обобщенные координаты. Механические системы со связями. Основы вариационного исчисления Эйлера. Принцип наименьшего действия Гамильтона. Механическое действие и функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа и свойства функции Лагранжа.
4. Функция Лагранжа материальной точки в декартовых, цилиндрических, сферических координатах. Кинетическая и потенциальная энергии. Примеры потенциальных полей: однородное, центрально - симметричное и кулоновское поля. Функция Лагранжа системы материальных точек. Функция Лагранжа математического маятника и маятника с колеблющейся точкой Почеп.
5. Законы сохранения. Однородность времени и закон сохранения энергии. Однородность пространства и закон сохранения импульса. Изотропии пространства и закон сохранения углового момента. Центр инерции системы материальных точек. Скрытые симметрии. Масштабная симметрия и механическое подобие. Вириал Клаузиуса и вириальная теорема. Теорема Эмми Нетер.

ОДНОМЕРНАЯ ДИНАМИКА. ПРОБЛЕМА ДВУХ ТЕЛ: ЗАДАЧА КЕПЛЕРА РАССЕЯНИЕ ЧАСТИЦ. ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА.

6. Динамика систем с одной степенью свободы. Качественный анализ динамики на фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости: центр, седло, устойчивый и неустойчивый фокусы, устойчивый и неустойчивый узлы. Сепаратрисные решения. Зависимость энергии колебания от энергии. Обратная задача: нахождение потенциальной энергии по периметру колебания осциллятора.
7. Динамика системы с двумя степенями свободы. Движение в центральном поле. Приведенная масса. Сведение проблемы к одномерному движению. Задача нахождения траектории движения и полное решение проблемы.
8. Анализ проблемы двух тел на фазовой плоскости. Замкнутые и незамкнутые траектории движения. Сечение Пуанкаре. Инвариантные торы. Резонансные торы. Движение в квадратичном потенциале и потенциале Кеплера.
9. Траектории движения в потенциале Кеплера: финитное движение, инфинитные траектории. Рассеяние частицы в потенциале отталкивания. Зависимости от времени движения тела в потенциале Кеплера и электростатическом потенциале.
10. Рассеяние частиц в системе отсчета, связанной с центром инерции. Эффективное сечение рассеяния. Рассеяния на твердом шаре. Формула Резерфорда. Рассеяние под малыми углами.
11. Столкновения частиц. Упругие столкновения частиц. Рассеяния одинаковых частиц. Преобразование формул эффективного сечения рассеяния при переходе из системы центра инерции к лабораторной системе отсчета. Вывод формулы Резерфорда.

12. Движение твердого тела. Обобщенные координаты: декартовы и угловые. Скорость постепенного движения и вращательная скорость. Кинетическая энергия твердого тела и тензор инерции. Шаровой волчок, симметричный волчок, асимметричный волчок.
13. Момент импульса твердого тела. Свободное вращение симметричного волчка
14. Уравнения движения твердого тела в лабораторной системе отсчета и системе, связанной с твердым телом. Углы Эйлера и уравнения Эйлера. Переход от решений в системе, связанной с твердым телом к лабораторной системе отсчета.
15. Качественный анализ свободного движения асимметричного волчка. Точное решение проблемы свободного движения асимметричного волчка. Эллиптические функции Якоби и их свойства.
16. Движение в неинерциальных системах отсчета. Центробежная сила и сила Кориолиса. Задача Ньютона о свободном падении тела в поле тяготения Земли.

МАЛЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ЛИНЕЙНЫЕ И АНГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.

17. Колебания линейного осциллятора. Линейные вращения ротатора. Учет диссипации. Линейные колебания со слабым затуханием. Линейные колебания с сильным затуханием. Диссипативная функция.
18. Вынужденные линейные колебания. Аддитивное и мультипликативное влияние на линейную систему. Пример адиабатической внешней силы. Линейный прямой резонанс. Резонансное влияние на динамику магнитного момента. Влияние затухания на линейный резонанс.
19. Линейный параметрический резонанс: общее рассмотрение. Параметрический резонанс в резонансном приближении. Параметрический резонанс на примере линейного ротатора. Влияние затухания на явление линейного параметрического резонанса.
20. Колебания систем со многими степенями свободы. Нормальные моды колебаний. Колебания двух связанных линейных осцилляторов. Явление внутреннего резонанса. Колебания четырех связанных осцилляторов. Свободные и периодические граничные условия. Колебания цепочке линейных осцилляторов. Спектр линейных колебаний.
21. Колебания нелинейного осциллятора. Качественный подход к нелинейным колебаниям. Зависимость частоты колебаний от их энергии и субгармоники колебаний. Нелинейные колебания в резонансном приближении. Нелинейные вращения ротатора и магнитного момента.
22. Влияние затухания на колебания нелинейного осциллятора. Осциллятор Ван-дер-Поля и явление предельного цикла: качественный подход и рассмотрение в рамках эффективной модели.
23. Резонанс в нелинейных системах. Квадратичная и кубическая нелинейности. Резонансное приближение. Явление динамического хаоса. Нелинейный резонанс при резонансном воздействии на магнитный момент. Учет затухания на явление нелинейного резонанса.
24. Нелинейный параметрический резонанс. Параметрическое влияние на ангармоническим осциллятор (резонансное приближение). Нелинейный параметрический резонанс на примере динамики магнитного момента. Влияние затухания на явление нелинейного параметрического резонанса.
25. Проблема распределения многомасштабных временных движений. Движение в быстро осциллирующем поле. Задача о маятнике Капицы.
26. Нелинейная динамика в системе с несколькими степенями свободы. Два связанных ангармонических осциллятора. Бифуркация решений. Системы двух связанных ангармонических ротаторов. Хаос в динамических системах.

КАНОНИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ

27. Преобразование Лежандра. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Вывод уравнений Гамильтона с вариационного принципа. Функция Рауса.
28. Скобки Пуассона: основные свойства; тождество Якоби; примеры составления скобок $\{p_i, p_k\}$, $\{q_i, q_k\}$, $\{p_i, q_k\}$, $\{M_i, M_k\}$, и т.д. Скобки Пуассона и интегралы уравнений движения.
29. Действие как функция координат. Уравнения движения в терминах действия. Укороченное действие и принцип Мопертюи.
30. Канонические преобразования. Образующая функция и канонические преобразования. Примеры канонических преобразований. Поведение скобок Пуассона при канонических преобразованиях. Функция действия как образующая функция канонических преобразований. Теорема Лиувилля и динамика фазового пространства в гамильтоновых и негамильтоновых системах.
31. Уравнения Гамильтона-Якоби и его роль в механике. Примеры составления и интегрирования уравнения Гамильтона-Якоби: движение частицы в постоянном и однородном поле, пространственный осциллятор, движение частицы в кулоновском поле. Бесконечно малые канонические преобразования.
32. Связь интегралов движения со свойствами симметрии функции Гамильтона. Метод разделения переменных в уравнении Гамильтона-Якоби. Разделение переменных в декартовых, цилиндрических и сферических координатах.
33. Адиабатические инварианты. Связь с квантовой механикой. Канонические переменные.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1. Механика. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит. 1965.-203 с.
2. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М., Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит. 1965.-384 с.
3. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч.1. Кинематика, статика, динамика материальной точки. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1967.- 468 с.
4. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч.2. Динамика системы материальных точек. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1969.- 332 с.
5. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. М.: Изд-во МГУ.
6. Коткин Г.Л. Сербо В.Г. Сборник задач по классической механике. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1969.- 240 с.
7. Павленко Ю.Г. Задачи по теоретической механике. М. МГУ, 1988.-344с.

Дополнительная

1. Голдстейн Г. Классическая механика. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1975.- 416 с.
2. Арнольд В.И. Математические методы классической механики, . М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1974.- 431 с.