

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета


С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

Классическая механика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная


Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

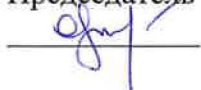
Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.06.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП


О.Н. Чайковская

Председатель УМК


О.М. Сюсина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 – Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

ОПК-2 – Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 – Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений.

ИОПК 2.1 – Выбирает адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области, планирует проведение научных исследований.

ИПК 1.1 – Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и методы классической механики.

– Научиться применять понятийный аппарат и методы классической механики для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 3, зачет.

Семестр 4, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Механика, Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 часа, из которых:

– лекции: 96 ч.;

– практические занятия: 48 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Часть I. *Основные принципы классической механики.*

Тема 1. *Конфигурационное пространство.*

Степени свободы. Конфигурации механической системы. Система обобщенных координат. Неоднозначность выбора обобщенных координат, преобразования координат. Конфигурационное пространство простейших моделей классической механики: материальная точка, система материальных точек, системы с голономными связями. Изменение конфигураций со временем, расширенное конфигурационное пространство. Описание траекторий в конфигурационном пространстве. Понятие о физических величинах как о функционалах траекторий.

Тема 2. *Симметрии конфигурационного пространства.*

Понятие физически эквивалентных конфигураций. Преобразования симметрии, эквивалентные системы координат. Примеры моделей с фундаментальными симметриями: однородность и изотропность пространства, однородность времени, симметрия Галилея. Непрерывные и бесконечно малые преобразования симметрии.

Тема 3. *Уравнения движения.*

Постулат о подчинении истинных траекторий уравнениям второго порядка. Симметрии уравнений движения. Примеры уравнений движения элементарных механических систем, уравнения Ньютона. Локальные по времени физические величины как функции конфигурации и обобщенной скорости. Сохраняющиеся величины. Состояние классической механической системы. Задача Коши для уравнений движения и причинность в классической механике. Общее решение уравнений движения и интегралы движения.

Часть II. *Лагранжев формализм.*

Тема 4. *Принцип наименьшего действия.*

Функция Лагранжа. Функционал действия и вариационный принцип. Неоднозначности функции Лагранжа. Закон преобразования функции Лагранжа при преобразовании системы обобщенных координат. Основные принципы построения функции Лагранжа. Восстановление функции Лагранжа по заданным симметриям. Построение функции Лагранжа для простейших моделей: свободная материальная точка, система свободных материальных точек, материальная точка в поле внешних сил, система материальных точек с голономными связями.

Тема 5. *Уравнения Лагранжа.*

Элементы вариационного исчисления. Уравнения движения как следствия вариационного принципа. Трансформационные свойства уравнений Лагранжа. Критерий закона сохранения в лагранжевом формализме. Уравнения Лагранжа и законы сохранения для простейших моделей классической механики.

Тема 6. *Теорема Нетер.*

Вариация действия при инфинитезимальном преобразовании конфигурационного пространства. Теорема Нетер. Законы сохранения, соответствующие фундаментальным симметриям: энергия, импульс, момент импульса. Примеры законов сохранения в простейших механических системах.

Тема 7. *Одномерное движение.*

Задачи, сводящиеся к одномерным, общий вид функции Лагранжа одномерного движения замкнутой системы. Общее решение задачи одномерного движения. Точки поворота, потенциальный барьер, финитное и инфинитное движение, период колебаний.

Часть III. *Гамильтонов формализм.*

Тема 8. *Канонические уравнения.*

Фазовое пространство. Функция Гамильтона. Физические величины в гамильтоновом формализме. Уравнения Гамильтона. Вариационный принцип в гамильтоновом формализме. Эквивалентность лагранжевого и гамильтонового формализма. Уравнения Гамильтона системы материальных точек.

Тема 9. *Скобки Пуассона.*

Определение и свойства скобки Пуассона. Критерий закона сохранения в гамильтоновом формализме. Теорема Пуассона. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля. Точечные и фазовые канонические преобразования, производящая функция канонических преобразований. Каноническая инвариантность скобок Пуассона и уравнений Гамильтона.

Часть IV. *Модели классической механики.*

Тема 10. *Проблема двух тел.*

Симметрии задачи о центральном взаимодействии двух тел, сохраняющиеся величины. Центр масс, приведенная масса. Тело в центральном поле. Эффективная потенциальная энергия, траектории в центральном поле общего вида, условия замкнутости траекторий. Падение в центр. Задача Кеплера, период обращения в кеплеровском случае, закон площадей, геометрия кеплеровских траекторий. Вектор Рунге-Ленца.

Тема 11. *Малые колебания.*

Понятие равновесной конфигурации. Гармоническое приближение. Свободные гармонические колебания, нормальные координаты, частоты нормальных колебаний. Гармоническое приближение в незамкнутых системах, основные типы внешних воздействий: внешняя сила, параметрическое воздействие, диссипация. Колебания под действием внешней силы, чисто вынужденные колебания, резонанс. Колебания под действием диссипации, периодическое и аperiodическое затухание.

Тема 12. *Проблема рассеяния.*

Понятие о задаче рассеяния, законы сохранения. Ц-система и л-система. Спонтанный распад. Эффективное сечение рассеяния. Упругие столкновения. Формула Резерфорда. Обратная задача рассеяния. Восстановление потенциала по сечению рассеяния на малые углы.

Часть V. *Метод Гамильтона-Якоби.*

Тема 13. *Уравнение Гамильтона-Якоби.*

Действие как функция координат. Производные действия по граничным точкам траекторий. Уравнение Гамильтона-Якоби. Полный интеграл. Эквивалентность уравнения Гамильтона-Якоби и уравнений Гамильтона, восстановление траекторий по известному полному интегралу. Частные интегралы и законы сохранения. Стационарное уравнение Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных. Примеры разделения переменных: декартовы, сферические, параболические координаты.

Тема 14. *Оптико-механическая аналогия.*

Волновые процессы в неоднородной среде, волновое уравнение. Эйкональное приближение в волновой теории, геометрическая оптика. Конфигурационное пространство как оптическая среда. Эйкональная интерпретация уравнения Гамильтона-Якоби. Оптическая интерпретация механических процессов.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится в форме проверки решений домашних задач и контрольных работ. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в 3 семестре проводится по экзаменационным билетам и состоит из двух частей, практической и теоретической. За практическую часть (решение задач по билетам) выставляется оценка *зачтено/не зачтено*. За теоретическую часть (устно, два вопроса в билете) выставляется оценка *зачтено/не зачтено*. При оценке за практическую часть *не зачтено* выставляется итоговая оценка *не зачтено*. При оценке за практическую часть *зачтено* итоговая оценка есть оценка за теоретическую часть.

Экзамен в 4 семестре проводится по экзаменационным билетам и состоит из двух частей, практической и теоретической. За практическую часть (решение задач по билетам) выставляется оценка *зачтено/не зачтено*. За теоретическую часть (устно, два вопроса в билете) выставляется оценка по пятибалльной шкале. При оценке за практическую часть *не зачтено* выставляется итоговая оценка *не удовлетворительно*. При оценке за практическую часть *зачтено* итоговая оценка есть оценка за теоретическую часть.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Учебные материалы по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21889>
<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21888>

б) Банк задач для самостоятельного решения по темам практических занятий.

Темы практических занятий:

1. Конфигурационное пространство.
2. Функции Лагранжа простейших механических систем.
3. Уравнения Лагранжа.
4. Сохраняющиеся величины в формализме Лагранжа.
5. Симметрии конфигурационного пространства. Теорема Нётер.
6. Одномерное движение.
7. Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона.
8. Скобки Пуассона.
9. Канонические преобразования.
10. Гармоническое приближение.
11. Многомерный гармонический осцилятор.
12. Вынужденные колебания.
13. Уравнение Гамильтона-Якоби.
14. Элементы теории рассеяния. Диаграммы скоростей.

в) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Банк задач для практической части экзамена по темам практических занятий.

Перечень теоретических вопросов для теоретического зачета в 3 семестре:

1. Конфигурационное пространство. Степени свободы. Конфигурации механической системы.
2. Система обобщенных координат. Неоднозначность выбора обобщенных координат, преобразования координат.
3. Конфигурационное пространство простейших моделей классической механики: материальная точка, система материальных точек, системы с голономными связями.
4. Изменение конфигураций со временем, расширенное конфигурационное пространство. Траектории в конфигурационном пространстве.
5. Понятие о физических величинах как о функционалах траекторий. Локальные по времени физические величины как функции конфигурации и обобщенной скорости.
6. Состояние классической механической системы.
7. Симметрии конфигурационного пространства. Понятие физически эквивалентных конфигураций. Преобразования симметрии, эквивалентные системы координат.
8. Примеры моделей с фундаментальными симметриями: однородность пространства.
9. Примеры моделей с фундаментальными симметриями: изотропность пространства.
10. Однородность времени и замкнутость системы.
11. Симметрия Галилея.
12. Непрерывные и бесконечно малые преобразования симметрии.
13. Уравнения движения. Постулат о подчинении истинных траекторий уравнениям второго порядка.
14. Примеры уравнений движения элементарных механических систем, уравнения

Ньютона.

15. Третий закон Ньютона и симметрия конфигурационного пространства замкнутой системы материальных точек.
 16. Задача Коши для уравнений движения и причинность в классической механике.
 17. Общее решение уравнений движения и законы сохранения.
 18. Функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия.
 19. Неоднозначности в определении функции Лагранжа.
 20. Закон преобразования функции Лагранжа при преобразовании системы обобщенных координат.
 21. Основные принципы построения функции Лагранжа.
 22. Примеры построения функции Лагранжа: свободная материальная точка, система свободных материальных точек.
 23. Функция Лагранжа системы взаимодействующих материальных точек.
 24. Функция Лагранжа системы материальных точек в поле внешних сил.
 25. Функция Лагранжа системы материальных точек с голономными связями.
 26. Уравнения Лагранжа. Получение уравнений движения как следствия вариационного принципа.
 27. Трансформационные свойства уравнений Лагранжа.
 28. Критерий закона сохранения в лагранжевом формализме.
 29. Уравнения Лагранжа и примеры законов сохранения для простейших моделей классической механики.
 30. Вариация действия при инфинитезимальном преобразовании конфигурационного пространства.
 31. Теорема Нетер.
 32. Законы сохранения, соответствующие фундаментальным симметриям: энергия.
 33. Законы сохранения, соответствующие фундаментальным симметриям: импульс.
 34. Законы сохранения, соответствующие фундаментальным симметриям: момент импульса.
 35. Примеры фундаментальных симметрий и законов сохранения в простейших механических системах.
 36. Понятие одномерного движения. Точки поворота, потенциальная яма, потенциальный барьер, финитное и инфинитное движение.
- Перечень теоретических вопросов для экзамена в 4 семестре (I-II семестр):*
1. Конфигурационное пространство. Степени свободы. Конфигурации механической системы. Система обобщенных координат. Неоднозначность выбора обобщенных координат, преобразования координат.
 2. Конфигурационное пространство простейших моделей классической механики: материальная точка, система материальных точек, системы с голономными связями. Изменение конфигураций со временем, расширенное конфигурационное пространство. Траектории в конфигурационном пространстве.
 3. Понятие о физических величинах как о функционалах траекторий. Локальные по времени физические величины как функции конфигурации и обобщенной скорости.
 4. Симметрии конфигурационного пространства. Понятие физически эквивалентных конфигураций. Преобразования симметрии, эквивалентные системы координат.
 5. Примеры моделей с фундаментальными симметриями: однородность пространства, изотропность пространства. Однородность времени и замкнутость системы. Симметрия Галиллея.
 6. Непрерывные и бесконечно малые преобразования симметрии.
 7. Уравнения движения. Постулат о подчинении истинных траекторий уравнениям второго порядка. Примеры уравнений движения элементарных механических систем, уравнения Ньютона.
 8. Задача Коши для уравнений движения и причинность в классической механике.

- Состояние классической механической системы.
9. Общее решение уравнений движения и законы сохранения.
 10. Функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Неоднозначности в определении функции Лагранжа. Закон преобразования функции Лагранжа при преобразовании системы обобщенных координат. Основные принципы построения функции Лагранжа.
 11. Примеры построения функции Лагранжа: свободная материальная точка, система свободных материальных точек. Функция Лагранжа системы взаимодействующих материальных точек. Функция Лагранжа системы материальных точек в поле внешних сил. Функция Лагранжа системы материальных точек с голономными связями.
 12. Уравнения Лагранжа. Получение уравнений движения как следствия вариационного принципа. Трансформационные свойства уравнений Лагранжа.
 13. Уравнения Лагранжа и примеры законов сохранения для простейших моделей классической механики. Критерий закона сохранения в лагранжевом формализме.
 14. Теорема Нетер. Законы сохранения, соответствующие фундаментальным симметриям: энергия, импульс, момент импульса. Примеры фундаментальных законов сохранения в простейших механических системах.
 15. Фазовое пространство. Физические величины в гамильтоновом формализме.
 16. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Эквивалентность лагранжевого и гамильтонового формализма.
 17. Вариационный принцип в гамильтоновом формализме.
 18. Скобки Пуассона, их алгебраические свойства.
 19. Критерий закона сохранения в гамильтоновом формализме.
 20. Теорема Пуассона.
 21. Канонические преобразования, общие свойства.
 22. Точечные и фазовые канонические преобразования.
 23. Одномерное движение, точки поворота, финитное и инфинитное движение, период колебаний.
 24. Проблема двух тел и движение в центральном поле. Приведенная масса.
 25. Центральное поле: симметрии задачи, сохраняющиеся величины, эффективная потенциальная энергия.
 26. Решение уравнений движения для материальной точки в центральном поле общего вида. Условия замкнутости траектории. Условия падения в центр.
 27. Задача Кеплера, случай притяжения. Геометрия траекторий.
 28. Задача Кеплера, случай отталкивания.
 29. Положение равновесия. Гармоническое приближение в замкнутой системе.
 30. Свободные гармонические колебания, нормальные координаты, частоты нормальных колебаний.
 31. Гармоническое приближение в нестационарных моделях, основные типы внешних воздействий.
 32. Колебания под действием внешней силы, резонанс.
 33. Колебания под действием диссипации, периодическое и аperiodическое затухание.
 34. Действие как функция координат.
 35. Производные действия по граничным точкам траекторий.
 36. Уравнение Гамильтона--Якоби. Полный интеграл уравнения Гамильтона--Якоби.
 37. Полный интеграл уравнения Гамильтона--Якоби и интегрирование уравнений Гамильтона.
 38. Стационарное уравнение Гамильтона--Якоби. Частные интегралы уравнения Гамильтона--Якоби и законы сохранения.
 39. Метод разделения переменных в теории Гамильтона--Якоби. Примеры разделения переменных: декартовы, сферические координаты.
 40. Оптико--механическая аналогия.
 41. Понятие о задаче рассеяния, законы сохранения в задаче рассеяния.

42. Связь между л-системой и ц-системой в теории рассеяния.
43. Спонтанный распад. Диаграммы распада.
44. Эффективное сечение рассеяния.
45. Упругие столкновения.
46. Формула Резерфорда.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к аттестации.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта (15 минут);
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей (15 минут);
- изучение теоретического материала по пособию лектора, учебникам и конспекту (1 час в неделю);
- подготовка к практическому занятию (2 часа в неделю);
- работа с литературой (1 час в неделю).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Теоретическая физика Т. 1 (Механика): [учебное пособие для физических специальностей университетов] : в 10 т. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; под ред. Л.П. Питаевского. Москва : Физматлит , 2012. 493 с.
2. К. Голдстейн. Классическая механика. М. : Наука , 1975. 416 с.
3. Д. Тер Хаар. Основы гамильтоновой механики. М. : Наука , 1974. 222 с.
4. И.М. Гельфанд, А.В. Фомин, Вариационное исчисление. М. : Физматлит , 1961. 228 с.
5. К. Ланцош, Вариационные принципы механики. М. : Мир , 1965. 408 с.
6. Ф.Р. Гантмахер, Лекции по аналитической механике. М. : Физматлит , 2002. 262 с.
7. Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо, Сборник задач по классической механике. Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика" , 2001. 352 с.
8. Е.С. Пятницкий, Н.М. Трухан, Ю.И. Ханукаев, Г.Н. Яковенко. Сборник задач поаналитической механике. М. : Наука. Физматлит , 2002. 396 с.

б) дополнительная литература:

1. С. Л. Ляхович. Формализм Лагранжа (Сборник задач и упражнений) Томск. 2001. 50 с.
2. И. Ю. Каратаева. Формализм Гамильтона и основные модели классической механики (Сборник задач и упражнений). Томск. 2001. 63 с.
3. Теоретическая механика. Электронный ресурс [29 книг в pdf-формате]. Москва: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика" , 2001. 1 CD-ROM. (Содерж.: Теоретическая механика. Т. 1,2 / П. Аппель. Динамические системы / Д. Биркгоф. Лекции по теоретической механике. Т. 1,2 / Ш. Ж. де ля Валле-Пуссен. Лекции по аналитической механике / Ф. Р. Гантмахер. Классическая механика / Г. Голдстейн и др.)
4. Вариационное исчисление и вариационные принципы Электронный ресурс : [20 книг в PDF-формате] Москва : РХД , 2005. 1 электрон. опт. диск. (Содерж.: Арнольд, Владимир Игоревич; Биркгоф, Джордж Дэвид; Бишоп, Р. Л.; Криттенден, Р; Гантмахер, Феликс Рувимович; Гриффитс, Филлип; Громол, Д.; Клингенберг, В.; Мейер, В.; Карган, Анри; Краснов, Михаил Леонтьевич; Макаренко, Григорий Иванович; Киселев, Александр Иванович; Ланцош, Корнелиус; Парс, Л. А.; Полак, Лев Соломонович 1908-2002; Ректорис, Карел; Рунд, Ханно; Синг, Дж. Л.; Стернберг,

- С.; Татаринов, Ярослав Всеволодович; Уиттекер, Эдмунд Тейлор; Фоменко, Анатолий Тимофеевич; Цлаф, Лев Яковлевич; Эльсгольц, Лев Эрнестович)
5. Арнольд В.И. Математические методы классической механики: Учебное пособие для студентов университетов. М.: Наука, 1974. 431 с.

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

- Аудитории для проведения занятий лекционного типа.
- Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
- Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

- Ляхович Семен Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра квантовой теории поля физического факультета ТГУ, заведующий кафедрой.