

Санкт-Петербургский государственный университет

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретическая механика
Theoretical Mechanics

Язык(и) обучения

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 8

Регистрационный номер рабочей программы: 000290

Раздел 1. Характеристики учебных занятий

1.1. Цели и задачи учебных занятий

Формирование у студентов, обучающихся на физическом факультете, знаний о первом о разделе теоретической физики – теоретической механике, изучение математических методов и теоретических подходов с перспективой использования их в других областях физики и подготовки к изучению квантовой механики. Знакомство с основными подходами к построению механики и ее математическим аппаратом – вариационными принципами, лагранжевой и гамильтоновой динамикой, каноническими преобразованиями, скобками Пуассона, интегральными инвариантами; изучение законов сохранения и интегралов движения, движения в центральном поле, включая случай Кеплера; описание рассеяния частиц, теория малых колебаний механических систем; динамика твердого тела, включая вращение волчков; ознакомление с основами теории многомерных интегрируемых гамильтоновых систем и теории КАМ, с особенностями регулярной и хаотической динамики.

1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Обучающиеся должны иметь подготовку по математике и классической механике, соответствующую первому году обучения на физическом факультете.

1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

В результате освоения курса обучающиеся должны:

- знать основные способы построения механики: уравнения Ньютона, вариационные принципы, лагранжеву и гамильтонову динамику;
- знать связь законов сохранения и свойств пространства и времени, иметь представление об интегралах движения;
- знать описание одномерного движения в потенциальном поле, иметь понятие об финитном и инфинитном движениях, точках поворота, периоде колебаний;
- знать основные принципы динамики систем многих частиц;
- уметь сводить задачу о динамике в системе двух частиц к задаче о движении частицы в центральном поле; знать методы описания этого движения, включая частный случай движения в поле силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния;
- знать принципы описания рассеяния частиц в классической механике и уметь вычислять сечение кулоновского рассеяния;
- знать теорию механических колебаний, включая колебания с затуханием и вынужденные колебания с резонансными эффектами, знать теорию колебаний в системах со многими степенями свободы, иметь представление о нелинейных эффектах;
- знать основы динамики в неинерциальных системах отсчета и основы динамики твердого тела, иметь понятие о тензоре инерции, регулярной и псевдорегулярной прецессии, нутации;
- иметь понятие о канонических преобразованиях, их интегральных инвариантах, скобках Пуассона, уравнении Гамильтона-Якоби и разделении переменных в нем, многопериодическом движении, переменных действие–угол и адиабатических инвариантах.

1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий

Семинары, консультации, практические занятия, лабораторные работы, контрольные работы, коллоквиум, текущий контроль, промежуточная аттестация. Объём занятий указан в п. 2.1.

Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

2.1. Организация учебных занятий

2.1.2 Углублённый курс

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Контактная работа обучающихся с преподавателем												Самостоятельная работа				Объём	М
	лекции	семинары	консультации	практические	лабораторные работы	контрольные работы				итоговая аттестация	под руководством		сам. раб. с использованием	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация	итоговая аттестация		
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
Форма обучения: очная																		
Семестр 3	30			24		4			2				78		6		30	4
	2-100			10-25		10-25			10-25				1-1		1-1			
Семестр 4	28		2	26		2	2	2	2				22	16	42		36	4
	2-100		2-100	10-25		10-25	2-100	2-100	2-100				1-1	1-1	1-1			
ИТОГО	58		2	50		6	2	2	4				100	16	48			8
Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации																		
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Формы текущего контроля успеваемости				Виды промежуточной аттестации				Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)									
	Формы	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки						
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
Форма обучения: очная																		
Семестр 3									зачёт, устно, традиционная форма						по графику промежуточной аттестации			
Семестр 4									зачёт, устно, традиционная форма, экзамен, устно,						по графику промежуточной аттестации			

			традиционн ая форма	и, по графику промеж уточной аттестац ии		
--	--	--	------------------------	---	--	--

2.2. Структура и содержание учебных занятий

Углубленный курс

Модуль С3

Лекции

1. Введение в классическую механику. Понятия материальной точки, системы точек, абсолютно твердого тела. Пространство и время в классической механике. Системы отсчета. Пределы применимости классической механики.
2. Кинематика материальной точки: радиус-вектор, скорость, ускорение, их представление в различных системах координат (декартовой, цилиндрической, сферической). Закон движения и уравнение траектории. Проекции скорости и ускорения на оси естественного трехгранника. Кривизна и кручение траектории, формулы Френе. Секторная скорость. Движение с постоянной секторной скоростью, формула Бине.
3. Понятие о силе и массе, законы Ньютона. Принцип относительности Галилея, преобразование Галилея. Примеры решения уравнений движения в частных случаях: сила, зависящая только от времени и сила, зависящая только от скорости.
4. Интегрирование уравнений одномерного движения в случае силы, зависящей только от координаты: разделение переменных, интеграл энергии. Исследование одномерного движения точки (финитное и инфинитное движение, потенциальная яма и барьер, точки поворота, период колебаний).
5. Законы изменения импульса, момента импульса и энергии материальной точки. Понятие интегралов движения. Работа и мощность силы. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Связь силы и потенциальной энергии. Теорема Клаузиуса о вириале сил. Механическое подобие.
6. Законы изменения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Центр масс системы материальных точек, его движение, внешние и внутренние силы. Кинетическая энергия, потенциальная энергия и полная механическая энергия. Замкнутая система, сохранение ее энергии при отсутствии диссипативных сил.
7. Задача двух тел, ее сведение к задаче о движении материальной точки в центральном поле, движение центра масс и относительное движение; приведенная масса. Движение в центральном поле, интегралы момента импульса и энергии, эффективная потенциальная энергия. Плоскость орбиты, уравнение траектории в полярных координатах. Исследование возможных траекторий, финитное и инфинитное движение, круговые орбиты, замкнутость траекторий, падение на центр.
8. Задача Кеплера: вывод уравнения траекторий в канонической форме, типы

орбит, законы Кеплера, временная зависимость расстояния до силового центра. Случай отталкивания. Интеграл Лапласа.

9. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром: прицельное расстояние (или параметр удара), угол рассеяния, дифференциальное и полное сечение рассеяния. Рассеяние заряженных частиц электрическим полем неподвижного заряда, формула Резерфорда. Особенности дифференциального сечения: радужное рассеяние и глория. Упругое рассеяние двух частиц в системе центра масс и в лабораторной системе.

10. Движение системы материальных точек при наложенных связях. Классификация связей. Голономные идеальные связи, обобщенные координаты. Принцип виртуальных работ и принцип Даламбера. Уравнения Лагранжа 2-го рода, их вывод из принципа Даламбера.

11. Функция Лагранжа. Силы трения и диссипативная функция Рэля. Обобщение уравнений Лагранжа на неголономные связи. Уравнения Лагранжа 1-го рода (с реакциями связей).

12. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона–Остроградского), вывод уравнений Лагранжа 2-го рода из этого принципа. Функция Лагранжа и законы сохранения, циклические координаты. Теорема Нетер.

13. Свободные малые колебания в одномерном случае. Положение устойчивого равновесия. Аппроксимация кинетической и потенциальной энергии. Собственная частота колебаний. Затухающие колебания при наличии трения. Вынужденные одномерные колебания. Случай гармонической зависимости вынуждающей силы от времени. Резонанс. Вынужденные колебания при наличии трения.

14. Свободные малые колебания в системах со многими степенями свободы. Положение устойчивого равновесия. Матрицы коэффициентов кинетической и потенциальной энергии. Аппроксимация функции Лагранжа в окрестности положения равновесия. Уравнения движения и их решение. Собственные частоты и собственные векторы колебаний. Вырождение частот. Нормальные координаты. Переход к нормальным координатам в функции Лагранжа. Вынужденные колебания в многомерных системах.

15. Кинематика абсолютно твердого тела. Описание вращений: направляющие косинусы, углы Эйлера. Теорема Эйлера о произвольном перемещении твердого тела с одной неподвижной точкой. Теорема Шаля. Угловая скорость и ее свойства. Кинематические уравнения Эйлера. Движение в неинерциальной системе отсчета. Скорость и ускорение во вращающейся системе. Вращательное, осесремительное и кориолисово ускорение.

*Модуль С3
Практические занятия*

1. Кинематика материальной точки. Радиус-вектор, скорость, ускорение. Закон движения и уравнение траектории. Системы координат: декартова, полярная, цилиндрическая, сферическая. Естественные координаты. (2 занятия).

2. Динамика одномерного движения материальной точки. Масса, сила, уравнение второго закона Ньютона. Закон движения в квадратурах для случая стационарной силы. Разрешенные и запрещенные области, точки поворота. Фinitное и инфинитное движение, период фinitного движения. (2 занятия).

3. Интегралы движения материальной точки. Законы сохранения импульса, момента импульса, энергии. Симметрия задачи и выбор системы координат. Примеры использования интегралов движения в декартовой системе координат. (1 занятие).

4. Использование интегралов движения в цилиндрической системе координат. Сведение задачи к случаю одномерного движения. Эффективная потенциальная энергия. Нахождение закона движения и уравнения траектории в квадратурах. (1 занятие).

5. Движение в центральном поле. Законы сохранения момента импульса и энергии. Плоскость движения, полярные координаты. Эффективная потенциальная энергия в центральном поле. Закон движения и уравнение траектории в квадратурах. (1 занятие).

6. Разрешенные и запрещенные области движения в центральном поле, точки поворота. Финитное и инфинитное движение, свойства траекторий. Период радиальных колебаний в случае финитного движения. Критерий замкнутости траектории и периодичности финитного движения. (1 занятие).

7. Кеплерово движение. Свойства эффективной потенциальной энергии и классификация типов движения материальной точки в зависимости от ее энергии. Возможные траектории движения: эллипс, парабола, гипербола. Уравнение траектории в случае поля притяжения и поля отталкивания. Интеграл Лапласа. Третий закон Кеплера. (2 занятия).

8. Постановка задачи о рассеянии в центральном поле. Прицельный параметр и угол рассеяния. Дифференциальное эффективное сечение рассеяния. Полное сечение рассеяния и его геометрический смысл в классической механике. (2 занятия).

9. Рассеяние частиц высокой энергии в центральном поле. Приближенная формула для угла рассеяния. Особенности дифференциального эффективного сечения рассеяния: радужное рассеяние и gloria. Сечение падения в центр поля. (2 занятия).

Модуль С4 Лекции

1. Динамика абсолютно твердого тела: кинетическая энергия вращения, тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции, эллипсоид инерции. Симметричный волчок, шаровой волчок, ротатор. Теорема Штейнера. Момент импульса, его связь с угловой скоростью.

2. Динамические уравнения Эйлера для волчка. Стационарность и устойчивость свободного вращения несимметричного волчка. Регулярная прецессия свободного симметричного волчка. Случай несимметричного волчка: геометрическая интерпретация Пуансо.

3. Тяжелый симметричный волчок с одной неподвижной точкой: уравнения Лагранжа и их решение. Интегралы движения и их физический смысл. Исследование движения: нерегулярная прецессия, нутация, естественные начальные условия. Быстрый волчок. Спящий волчок.

4. Канонические уравнения Гамильтона, вывод с помощью преобразования Лежандра. Функция Гамильтона. Примеры: функция Гамильтона для частицы в декартовых и сферических координатах. Сохранение обобщенной энергии. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема. Функции

Лагранжа и Гамильтона для заряда в электромагнитном поле.

5. Скобки Пуассона и их свойства. Фундаментальные скобки. Тожество Якоби. Скобки Пуассона и интегралы движения, теорема Пуассона. Интегральный инвариант Пуанкаре–Картана (основной интегральный инвариант механики), интеграл Пуанкаре.

6. Канонические преобразования. Производящие функции различных типов, связь между ними. Примеры канонических преобразований: тождественные преобразования, замена координат на импульсы и импульсов на координаты, точечное преобразование. Преобразование координаты к циклической для гармонического осциллятора. Использование канонических преобразований для решения задач динамики. Доказательство инвариантности скобок Пуассона относительно канонических преобразований.

7. Бесконечно малые канонические преобразования и их производящие функции. Движение как бесконечно малое каноническое преобразование. Интегралы движения как генераторы бесконечно малых канонических преобразований. Интегральные инварианты канонических преобразований. Линейный интегральный инвариант. Полный интегральный инвариант: теорема Лиувилля об инвариантности фазового объема.

8. Действие как функция координат и времени. Действие как производящая функция канонического преобразования, вывод уравнения Гамильтона–Якоби, его полный интеграл, теорема Якоби. Разделение переменных в уравнении Гамильтона–Якоби: случай стационарной функции Гамильтона, случай циклических координат, другие случаи разделения переменных. Пример: движение в поле центральной силы. Понятие о разделении переменных в сфероидальной и параболической системах координат.

9. Укороченное действие. Вариационный принцип Мопертюи. Принцип Якоби. Аналогия с геометрической оптикой (принцип Ферма). Случай материальной точки, движущейся по криволинейной поверхности в отсутствие внешних сил, геодезические линии.

10. Периодические движения типа колебания и вращения, соответствующие фазовые траектории, сепаратрисы. Примеры: гармонический осциллятор, плоский маятник. Условно-периодические и чисто периодические движения, случаи отсутствия и наличия вырождения. Переменные действие – угол, вычисление частот колебаний. Пример: анизотропный пространственный осциллятор.

11. Задача Кеплера в переменных действие – угол. Правило квантования действия (правило квантования Бора–Зоммерфельда), формула Бальмера для уровней энергии атома водорода. Адиабатические инварианты, понятие о точности их сохранения. Пример: малые колебания математического маятника с изменяющейся длиной подвеса.

12. Многомерные интегрируемые системы. Теорема Лиувилля–Арнольда об интегрируемости. Инвариантные торы, резонансные торы. Теория возмущений, проблема малых знаменателей, внутренние резонансы.

13. Теория Колмогорова–Арнольда–Мозера. Формулировка теоремы Колмогорова, условия её применимости. Картина разрушения инвариантных торов под действием возмущения. Глобальная устойчивость систем с двумя степенями свободы. Понятие о диффузии Арнольда.

14. Эргодичность и перемешивание в динамических системах. Локальная неустойчивость, энтропия Колмогорова–Синая. Примеры консервативных динамических систем с хаотическим движением.

15. Одномерная система, возбуждаемая периодическими толчками. Картина перехода к хаосу с ростом возмущения: образование стохастического слоя вблизи сепаратрисы, слияние различных стохастических слоев и образование стохастического моря.

Модуль С4

Практические занятия

1. Уравнения Лагранжа 2-го рода. Ковариантность уравнений Лагранжа в независимых координатах. Выбор обобщенных координат. Интегрирование уравнений Лагранжа в простейших случаях. (1 занятие).

2. Обобщенные импульсы. Циклические координаты и законы сохранения обобщенных импульсов. Обобщенная энергия и закон ее сохранения. Возможность сохранения обобщенной энергии в случае нестационарных связей. Сведение задачи к случаю одномерного движения при наличии достаточного количества циклических координат. (1 занятие).

3. Движение под действием обобщенно-потенциальных сил. Функция Лагранжа электромагнитного поля, возможные случаи сведения к задаче с конечным числом степеней свободы. Функция Лагранжа заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Электромеханическая аналогия и функция Лагранжа системы конденсаторов и катушек индуктивности. (2 занятия).

4. Малые колебания в одномерных системах. Положение устойчивого равновесия системы, степенное разложение кинетической и потенциальной энергий в окрестности положения устойчивого равновесия. Собственные малые колебания. Линейные колебания, независимость частоты линейных колебаний от амплитуды. Нелинейные малые колебания. Вынужденные колебания в одномерных системах. (2 занятия).

5. Малые колебания в системах с несколькими степенями свободы. Положение устойчивого равновесия многомерной системы. Разложение кинетической и потенциальной энергий в окрестности положения устойчивого равновесия, квадратичные формы кинетической и потенциальной энергий. (1 занятие).

6. Задача об одновременном приведении двух квадратичных форм к диагональному виду. Собственные частоты и собственные векторы колебаний в многомерных системах. Случай вырождения частот. Нормальные координаты, функция Лагранжа в нормальных координатах. (1 занятие).

7. Динамика твердого тела. Тензор инерции. Плоскопараллельное движение. Вращение симметричного волчка. (1 занятие).

8. Канонические уравнения Гамильтона. Интегралы движения. Скобки Пуассона. Канонические преобразования. (2 занятия).

9. Уравнение Гамильтона — Якоби. Разделение переменных в различных системах координат. (1 занятие).

10. Адиабатические инварианты. (1 занятие).

Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

3.1. Методическое обеспечение

3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины необходимо регулярно посещать лекционные занятия и достаточно подробно конспектировать лекции. Перед занятиями обучающимся рекомендуется прочитать конспект предыдущей лекции, отметить возникшие вопросы. Желательно ознакомиться с темой предстоящей лекции (по п. 2.2 данной рабочей программы дисциплины). В течение и в конце лекции обучающиеся могут задать лектору уточняющие вопросы. Обучающимся необходимо посещать все практические занятия. На практических занятиях обучающимся предоставляется возможность освоить интересные математические приёмы и узнать необычные физические явления путём самостоятельного решения ряда задач при возможности получения консультации преподавателя.

3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Для самостоятельной работы обучающиеся должны использовать методические материалы, рекомендованные преподавателем, включая рекомендованную литературу (п. 3.4), конспекты лекций и набор контрольных вопросов (представленный в п. 3.1.4). Проверка знаний при помощи последних позволяет выявить проблемные места, которые следует разобрать при помощи рекомендованной литературы. Для получения дополнительной информации по изучаемой дисциплине рекомендуется использовать ресурсы, размещённые в сети интернет.

3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Текущий контроль проводится в форме контрольных работ и коллоквиума, проводимого в четвертом семестре (С4). Промежуточная аттестация проводится в форме зачета (С3, С4) и экзамена (С4).

Каждая контрольная работа включает в себя три задачи на разные темы. Зачет выставляется на последнем занятии по итогам работы в семестре, включая результаты написания контрольных работ. Для получения зачета необходимо решить задачи по всем представленным темам. В случае необходимости перед зачетом в конце семестра предоставляется дополнительная попытка написания контрольной работы. Пересдача зачета и пересдача с комиссией регламентируются общими правилами обучения.

Коллоквиум проводится в устной форме. Билет коллоквиума содержит один вопрос по материалам первой части курса. На подготовку отводится не более 45 минут. Оценка «отлично» ставится за полностью раскрытый материал билета и правильные ответы на дополнительные вопросы по программе курса, выносимой на коллоквиум. Оценка «хорошо» ставится за полностью раскрытый материал билета при неточных ответах на дополнительные вопросы по программе курса, выносимой на коллоквиум. Оценка «удовлетворительно» ставится за не полностью раскрытый материал билета при отсутствии правильных ответов на часть дополнительных вопросов. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если ответ студента не удовлетворяет перечисленным выше критериям оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно». В случае неудовлетворительной оценки на коллоквиуме, студент сдает материал первой части курса во время экзамена. Пересдача отдельно коллоквиума не производится.

Экзамен проводится в устной форме. Билет экзамена содержит два вопроса; первый вопрос — по материалам первой части курса, второй вопрос — по материалам второй части курса. На подготовку отводится не более 1 часа. Студенты, успешно сдавшие коллоквиум, отвечают только на второй вопрос билета. Оценка «отлично» ставится за полностью раскрытый материал билета и правильные ответы на дополнительные вопросы по всей программе курса. Оценка «хорошо» ставится за полностью раскрытый

материал билета при неточных ответах на дополнительные вопросы по всей программе курса. Оценка «удовлетворительно» ставится за не полностью раскрытый материал билета при отсутствии правильных ответов на часть дополнительных вопросов. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если ответ студента не удовлетворяет перечисленным выше критериям оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно». Допускается передача неудовлетворительной оценки коллоквиума во время экзамена. Общая оценка за экзамен по теоретической механике выставляется на основе результатов коллоквиума и ответа на экзамене. Во время коллоквиума и экзамена студенты имеют право пользоваться своими конспектами при соблюдении следующих правил: а) Конспекты во время проведения экзамена или коллоквиума лежат на отдельном столе в той аудитории, где проводится аттестация. б) Студент может подойти и посмотреть свой конспект в течение короткого времени (не более 5 минут). в) Запись материала конспекта на отдельные листы, а также перенос его со стола в аудиторию не допускаются.

3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

Программа курса размещена на постоянной основе на сайте кафедры квантовой механики <http://fock.phys.spbu.ru>. Перечни вопросов к коллоквиуму и экзамену размещаются на сайте кафедры не менее, чем за 10 дней до проведения коллоквиума или экзамена.

Примерный перечень вопросов к экзамену

Углубленный курс

1. Введение в классическую механику. Понятия материальной точки, системы точек, абсолютно твердого тела. Пространство и время в классической механике. Системы отсчета. Пределы применимости классической механики.
2. Кинематика материальной точки: радиус-вектор, скорость, ускорение, их представление в различных системах координат (декартовой, цилиндрической, сферической). Закон движения и уравнение траектории.
3. Проекция скорости и ускорения на оси естественного трехгранника. Кривизна и кручение траектории, формулы Френе. Секторная скорость. Движение с постоянной секторной скоростью, формула Бине.
4. Понятие о силе и массе, законы Ньютона. Принцип относительности Галилея, преобразование Галилея. Примеры решения уравнений движения в частных случаях: сила, зависящая только от времени и сила, зависящая только от скорости.
5. Интегрирование уравнений одномерного движения в случае силы, зависящей только от координаты: разделение переменных, интеграл энергии. Исследование одномерного движения точки (финитное и инфинитное движение, потенциальная яма и барьер, точки поворота, период колебаний).
6. Понятие интегралов движения. Законы изменения импульса и момента импульса материальной точки.
7. Работа и мощность силы. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Связь силы и потенциальной энергии. Закон изменения энергии материальной точки.
8. Теорема Клаузиуса о вириале сил.
9. Механическое подобие.
10. Центр масс системы материальных точек, его движение, внешние и внутренние силы. Законы изменения импульса и момента импульса системы материальных точек.

11. Кинетическая энергия, потенциальная энергия и полная механическая энергия системы материальных точек. Замкнутая система, сохранение ее энергии при отсутствии диссипативных сил.
12. Задача двух тел, ее сведение к задаче о движении материальной точки в центральном поле, движение центра масс и относительное движение; приведенная масса.
13. Движение в центральном поле, интегралы момента импульса и энергии, эффективная потенциальная энергия. Плоскость движения, полярные координаты. Зависимость от времени радиальной и угловой координаты.
14. Уравнение траектории движения в центральном поле в полярных координатах. Исследование возможных траекторий, финитное и инфинитное движение, круговые орбиты, замкнутость траекторий, падение на центр.
15. Задача Кеплера: вывод уравнения траекторий в канонической форме для случая притяжения, типы орбит, законы Кеплера.
16. Задача Кеплера: вывод уравнения траекторий в канонической форме для случая отталкивания,
17. Задача Кеплера: временная зависимость расстояния до силового центра и угла поворота радиус-вектора.
18. Задача Кеплера: интеграл Лапласа.
19. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром: прицельное расстояние (или параметр удара), угол рассеяния, дифференциальное и полное сечение рассеяния.
20. Рассеяние заряженных частиц электрическим полем неподвижного заряда, формула Резерфорда.
21. Особенности дифференциального сечения: радужное рассеяние и gloria.
22. Упругое рассеяние двух частиц в системе центра масс и в лабораторной системе.
23. Движение системы материальных точек при наложенных связях. Классификация связей. Голономные идеальные связи, обобщенные координаты. Принцип виртуальных работ и принцип Даламбера.
24. Уравнения Лагранжа 2-го рода, их вывод из принципа Даламбера. Функция Лагранжа.
25. Силы трения в формализме Лагранжа. Диссипативная функция Рэля.
26. Обобщение уравнений Лагранжа на неголономные связи. Уравнения Лагранжа 1-го рода (с реакциями связей).
27. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона–Остроградского), вывод уравнений Лагранжа 2-го рода из этого принципа.
28. Функция Лагранжа и законы сохранения, циклические координаты. Теорема Нетер.
29. Свободные малые колебания в одномерном случае. Положение устойчивого равновесия. Аппроксимация кинетической и потенциальной энергии. Собственная частота колебаний.
30. Вынужденные одномерные колебания. Случай гармонической зависимости вынуждающей силы от времени. Резонанс.
31. Одномерные колебания при наличии трения. Вынужденные колебания при наличии трения.

32. Свободные малые колебания в системах со многими степенями свободы. Положение устойчивого равновесия. Матрицы коэффициентов кинетической и потенциальной энергии. Аппроксимация функции Лагранжа в окрестности положения равновесия.
33. Свободные малые колебания в системах со многими степенями свободы. Уравнения движения и их решение. Собственные частоты и собственные векторы колебаний. Вырождение частот.
34. Нормальные координаты в теории многомерных колебаний. Переход к нормальным координатам в функции Лагранжа. Вынужденные колебания в многомерных системах.
35. Кинематика абсолютно твердого тела. Описание вращений: направляющие косинусы, углы Эйлера. Теорема Эйлера о произвольном перемещении твердого тела с одной неподвижной точкой. Теорема Шаля.
36. Угловая скорость и ее свойства. Кинематические уравнения Эйлера.
37. Движение в неинерциальной системе отсчета. Скорость и ускорение во вращающейся системе. Вращательное, осециллирующее и кориолисово ускорение.
38. Динамика абсолютно твердого тела: кинетическая энергия вращения, тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции, эллипсоид инерции. Симметричный волчок, шаровой волчок, ротатор.
39. Теорема Штейнера о моменте инерции абсолютно твердого тела относительно произвольной оси.
40. Момент импульса абсолютно твердого тела, его связь с угловой скоростью.
41. Динамические уравнения Эйлера для волчка.
42. Регулярная прецессия свободного симметричного волчка.
43. Стационарность и устойчивость свободного вращения несимметричного волчка.
44. Свободное вращение несимметричного волчка: геометрическая интерпретация Пуансо.
45. Тяжелый симметричный волчок с одной неподвижной точкой: уравнения Лагранжа и их решение. Интегралы движения и их физический смысл.
46. Исследование движения тяжелого симметричного волчка с одной неподвижной точкой: нерегулярная прецессия, нутация, естественные начальные условия. Быстрый волчок. Спящий волчок.
47. Канонические уравнения Гамильтона, их вывод с помощью преобразования Лежандра.
48. Функция Гамильтона, пример: свободная частица при использовании декартовых, цилиндрических и сферических координат. Функции Лагранжа и Гамильтона для заряда в электромагнитном поле.
49. Обобщенная энергия и закон ее сохранения.
50. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема.
51. Скобки Пуассона и их свойства. Фундаментальные скобки. Тождество Якоби. Скобки Пуассона и интегралы движения, теорема Пуассона.
52. Интегральный инвариант Пуанкаре–Картана (основной интегральный инвариант механики), интеграл Пуанкаре.
53. Канонические преобразования. Производящие функции различных типов, связь между ними.

54. Примеры канонических преобразований: тождественные преобразования, замена координат на импульсы и импульсов на координаты, точечное преобразование. Преобразование координаты к циклической для гармонического осциллятора.
55. Скобки Лагранжа. Инвариантность скобок Лагранжа и скобок Пуассона относительно канонических преобразований.
56. Бесконечно малые канонические преобразования и их производящие функции. Движение как бесконечно малое каноническое преобразование. Интегралы движения как генераторы бесконечно малых канонических преобразований.
57. Интегральные инварианты канонических преобразований. Линейный интегральный инвариант. Полный интегральный инвариант: теорема Лиувилля об инвариантности фазового объема.
58. Действие как функция координат и времени. Действие как производящая функция канонического преобразования, вывод уравнения Гамильтона–Якоби.
59. Полный интеграл уравнения Гамильтона–Якоби, теорема Якоби.
60. Разделение переменных в уравнении Гамильтона–Якоби: случай стационарной функции Гамильтона, случай циклических координат.
61. Разделение переменных в уравнении Гамильтона–Якоби, примеры: движение в поле центральной силы, движение в поле точечного диполя. Понятие о разделении переменных в сферической и параболической системах координат.
62. Укороченное действие. Вариационный принцип Мопертюи.
63. Вариационный принцип Мопертюи в форме Якоби. Аналогия с геометрической оптикой (принцип Ферма). Случай материальной точки, движущейся по криволинейной поверхности в отсутствие внешних сил, геодезические линии.
64. Периодические движения типа колебания и вращения, соответствующие фазовые траектории, сепаратрисы. Пример: плоский маятник. Условно-периодические и чисто периодические движения, случаи отсутствия и наличия вырождения.
65. Переменные действие – угол, вычисление частот колебаний. Пример: анизотропный пространственный осциллятор.
66. Задача Кеплера в переменных действие – угол. Правило квантования действия (правило квантования Бора–Зоммерфельда), формула для уровней энергии атома водорода.
67. Адиабатические инварианты, понятие о точности их сохранения. Пример: малые колебания математического маятника с изменяющейся длиной подвеса.
68. Многомерные интегрируемые системы. Теорема Лиувилля–Арнольда об интегрируемости. Инвариантные торы, резонансные торы. Теория возмущений, проблема малых знаменателей, внутренние резонансы.
69. Теория Колмогорова–Арнольда–Мозера. Формулировка теоремы Колмогорова, условия её применимости.
70. Картина разрушения инвариантных торов под действием возмущения. Глобальная устойчивость систем с двумя степенями свободы. Понятие о диффузии Арнольда.
71. Эргодичность и перемешивание в динамических системах. Локальная неустойчивость, энтропия Колмогорова–Синяя. Примеры консервативных динамических систем с хаотическим движением.

72. Одномерная система, возбуждаемая периодическими толчками. Картина перехода к хаосу с ростом возмущения: образование стохастического слоя вблизи сепаратрисы, слияние различных стохастических слоев и образование стохастического моря.

Примеры задач для практических занятий

1. Кинематика материальной точки.
O1.1, O1.7, O1.9, O1.14
2. Динамика одномерного движения.
КС1.1а, КС1.3, КС1.10, КС1.11а
3. Интегралы движения.
O2.7, O2.11, O2.13
4. Интегралы движения (продолжение).
O2.14, O2.16, O2.18, O2.21
5. Движение в центральном поле.
O2.31, O2.32, O2.37, КС2.2, КС2.8, КС2.10
6. Движение в центральном поле (продолжение).
КС2.5, КС2.7, КС2.17, КС2.20
7. Задача Кеплера.
O2.41, O2.42, O2.43, O2.46, O2.51
8. Сечение рассеяния в заданном поле.
КС3.1а, КС3.16, КС3.3, КС3.6а
9. Рассеяние частиц высокой энергии. Падение в центр.
КС3.4а, КС3.4б, КС3.6б, КС3.7а, КС3.8
10. Уравнения Лагранжа.
O5.23, O5.24, O5.28, O5.29, O5.30, O5.31, O5.32
11. Законы сохранения.
O5.35, O5.38, O5.40, O5.43, O5.49
12. Движение под действием обобщенно-потенциальных сил.
КС4.15а,б, КС4.16а, КС4.20, КС4.22а,б,в, КС4.23б, КС4.24
13. Одномерные малые колебания.
КС5.1, КС5.2, КС5.4, КС5.6, КС5.7
14. Вынужденные одномерные колебания.
КС5.9, КС5.12а,б, КС5.11, КС5.13б, КС5.16, КС5.17
15. Многомерные малые колебания.
КС6.1, КС6.3, КС6.6б, КС6.18, КС6.22, КС6.49
16. Динамика твердого тела.
КС9.1, КС9.2, КС9.16, КС9.17

17. Уравнения Гамильтона

КС10.1, КС10.2, КС10.3, КС10.6

18. Уравнение Гамильтона — Якоби

КС12.1, КС12.2, КС12.8, КС12.12

19. Адиабатические инварианты

КС13.1, КС13.2, КС13.4, КС13.5

Обозначения:

КС — сборник задач [4] из пункта 3.4.1

О — сборник задач [5] из пункта 3.4.1

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

Примерная анкета-отзыв по преподаванию дисциплины

Просим Вас заполнить анонимную анкету-отзыв по пройденному Вами курсу. Обобщенные данные анкет будут использованы для совершенствования преподавания. По каждому вопросу проставьте соответствующие оценки по шкале от 1 до 10 баллов (обведите выбранный Вами балл). В случае необходимости впишите свои комментарии.

1. Насколько Вы удовлетворены содержанием дисциплины в целом?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

2. Насколько Вы удовлетворены формами преподавания?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

3. Как Вы оцениваете качество подготовки предложенных учебно-методических материалов?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

4. Насколько Вы удовлетворены использованием преподавателями интерактивных и активных методов обучения ?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

5. Какие из тем дисциплины Вы считаете наиболее полезными, ценными с точки зрения дальнейшего обучения и/или применения в последующей практической деятельности?
6. Что бы Вы предложили изменить в методическом и содержательном плане для совершенствования преподавания данной дисциплины?

СПАСИБО!

3.2. Кадровое обеспечение

3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

Лектор должен иметь высшее образование и ученую степень не ниже кандидата наук. Преподаватели, ведущие практические занятия, должны иметь высшее образование и ученую степень не ниже магистра физики.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Не требуется.

3.3. Материально-техническое обеспечение

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Стандартно оборудованная лекционная аудитория на 40-50 человек. Стандартно оборудованные аудитории на 20 человек для проведения практических занятий.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Стол, стулья, доска необходимых размеров.

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Отсутствуют.

3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Отсутствуют.

3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Не менее 3 кусков мела на одну лекцию или практическое занятие.

3.4. Информационное обеспечение

3.4.1 Список обязательной литературы

1. И. И. Ольховский, Курс теоретической механики для физиков, изд-во МГУ, 1978.
2. Г. Голдстейн, Классическая механика, Физматгиз, 1975.
3. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц, Механика, «Наука», 1988.
4. Г. Л. Коткин и В. Г. Сербо, Сборник задач по классической механике, «Наука», 1977
5. И. И. Ольховский, Ю. Г. Павленко, Л. С. Кузьменков, Задачи по теоретической механике для физиков, изд-во МГУ, 1977.

3.4.2 Список дополнительной литературы

1. В. Г. Невзглядов, Теоретическая механика, Физматгиз, 1959.
2. В. И. Арнольд, Математические методы классической механики, «Наука», 1989.

3. Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев, Введение в нелинейную физику, «Наука», 1988.

3.4.3 Перечень иных информационных источников

Раздел 4. Разработчики программы

Тельнов Дмитрий Александрович, д.ф.м.н., профессор, d.telnov@spbu.ru