

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ

для студентов факультета информационных технологий и программирования

МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1. Введение

Место физики среди естественных наук. Соотношение эксперимента и теории в физике. Опыт как источник знаний и критерий истины. Эвристическая сила физических теорий. Роль математики в физике. Различие понятий, с которыми имеет дело чистая математика и экспериментальная наука. Физические модели. Примеры идеализированных объектов и абстракций, используемых в физике. Границы применимости физических теорий. Принцип соответствия.

Принципы классической (неквантовой) механики. Абсолютизация физического процесса (независимость от средств наблюдения) и возможность неограниченной детализации его описания. Соотношения неопределенностей и границы применимости классического описания. Круг явлений, описываемых классической механикой.

2. Классическая и релятивистская кинематика

Измерения промежутков времени и пространственных расстояний. Система отсчета. Системы координат. Связь цилиндрических и сферических координат с декартовыми. Единичные векторы (орты) для декартовых, цилиндрических и сферических координат. Преобразование координат точки при переходе от одной системы координат к другой.

Классические (нерелятивистские) представления о пространстве и времени – предположения об абсолютном характере одновременности событий, промежутков времени и пространственных расстояний. Свойства пространства и времени. Однородность времени. Однородность и изотропность пространства. Соотношение евклидовой геометрии и геометрии реального физического пространства.

Материальная точка как физическая модель. Число степеней свободы механической системы. Механическое движение и его описание. Предмет кинематики. Движение при наличии связей. Основные понятия кинематики материальной точки. Радиус-вектор. Перемещение. Траектория. Путь. Средняя скорость. Скорость. Вектор скорости как производная радиус-вектора. Направление вектора скорости и траектория. Годограф вектора скорости. Ускорение. Ускорение при криволинейном движении. Центр кривизны и радиус кривизны траектории. Разложение ускорения на нормальную и тангенциальную составляющие.

Координатная форма описания движения. Определение скорости и ускорения по заданной зависимости координат от времени. Определение координат по заданной зависимости скорости от времени. Одномерное криволинейное движение.

Инерциальные системы отсчета. Физическая эквивалентность инерциальных систем отсчета (принцип относительности). Преобразования Галилея и преобразование скорости. Ограниченный характер классических представлений о пространстве и времени. Принцип относительности и электродинамика. Экспериментальные факты, свидетельствующие об универсальном характере скорости света в вакууме. Частная теория относительности – физическая теория пространства и времени. Постулаты теории относительности и их физическое содержание.

Измерение промежутков времени и пространственных расстояний с точки зрения теории относительности. Понятие события. Относительность одновременности событий. Синхронизация часов. Преобразование промежутков времени между событиями при переходе в другую систему отсчета. Собственное время. Экспериментальные подтверждения релятивистского закона преобразования промежутков времени. Относительность пространственных расстояний между событиями. Собственная длина. Лоренцево сокращение как следствие постулатов теории относительности. Релятивистский эффект Допплера. Преобразования Лоренца.

Кинематические следствия преобразований Лоренца. Интервал между событиями. Геометрическая интерпретация преобразований Лоренца. Четырехмерное пространство-время Минковского. Световой конус. Мировые линии. Времениподобные и пространственноподобные интервалы между событиями. Причинность и классификация интервалов. Абсолютное прошлое, абсолютное будущее и абсолютно удаленное. Интерпретация относительности одновременности событий, относительности промежутков времени и расстояний с помощью диаграмм Минковского. Четырехвекторы в пространстве Минковского. Четырехмерный радиус-вектор события. Релятивистский закон преобразования скорости при переходе в другую систему отсчета. Аберрация света. Относительная скорость и скорость сближения.

3. Динамика материальной точки

Логическая схема законов динамики и разные возможности ее построения. Первый закон Ньютона и его физическое содержание. Динамическая эквивалентность состояния покоя и движения с постоянной скоростью. Связь закона инерции с принципом относительности. Второй закон Ньютона. Сила и механическое движение. Физическая сущность понятия силы в механике. Силы разной физической природы и фундаментальные взаимодействия в физике. Свойства силы и способы измерения сил. Понятие инертной массы. Способы измерения массы. Физическое содержание второго закона Ньютона. Одновременное действие нескольких сил и принцип суперпозиции. Взаимодействие тел и третий закон Ньютона.

Второй закон Ньютона как основное уравнение динамики материальной точки. Понятие механического состояния. Прямая задача динамики – определение сил по известному движению. Нахождение закона тяготения из законов Кеплера. Обратная задача динамики – определение движения по известным силам и начальному состоянию. Примеры интегрирования уравнений движения (движение частицы в постоянном и в зависящем от времени однородном поле, движение в вязкой среде, движение заряженной частицы в однородном магнитном поле и в скрещенных электрическом и магнитном полях, движение под действием сил, зависящих от положения частицы – пространственный осциллятор и кулоново поле). Алгоритмы численного интегрирования уравнений движения. Движение материальной точки при наличии связей. Силы реакции идеальных связей.

Импульс материальной точки и закон его изменения. Импульс силы. Момент импульса материальной точки. Момент силы. Закон изменения момента импульса. Сохранение момента импульса при движении частицы в центральном силовом поле. Секториальная скорость и закон площадей – второй закон Кеплера.

4. Работа и механическая энергия

Понятие работы силы в механике. Свойства работы как физической величины. Мощность силы. Кинетическая энергия частицы. Работа полной силы и изменение кинетической энергии частицы. Потенциальное силовое поле. Потенциальная энергия частицы. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности. Связь силы и потенциальной энергии. Примеры потенциальных силовых полей.

Механическая энергия материальной точки. Закон изменения механической энергии частицы при ее движении в потенциальном силовом поле. Диссипативные и консервативные механические системы. Работа сил реакции идеальных связей. Связь сохранения механической энергии консервативной системы с обратимостью ее движения во времени и с однородностью времени. Примеры применения закона сохранения механической энергии в физических задачах.

5. Динамика системы тел

Динамика системы материальных точек. Центр масс системы. Импульс системы частиц. Связь импульса системы со скоростью центра масс. Внешние и внутренние силы. Закон изменения импульса системы. Сохранение импульса замкнутой системы взаимодействующих тел. Закон движения центра масс. [Движение тела переменной массы. Уравнение Мещерского. Реактивное движение. Формула Циолковского. Идея многоступенчатых ракет. Задача двух тел. Приведенная масса. \[1\] - 21](#)

Момент импульса системы тел. Связь моментов импульса системы в разных системах отсчета и *относительно* разных точек. Закон изменения момента импульса системы взаимодействующих тел. Моменты внутренних и внешних сил. [Уравнение моментов относительно движущегося полюса. \[1\] - 37](#) Сохранение момента импульса замкнутой системы.

Законы сохранения и принципы симметрии в физике. Связь законов сохранения для замкнутой системы тел со свойствами симметрии физического пространства. Сохранение импульса и однородность пространства. Сохранение момента импульса и изотропность пространства.

Кинетическая энергия системы частиц. Разложение кинетической энергии системы на сумму кинетической энергии движения системы как целого и кинетической энергии движения относительно центра масс. Неупругие столкновения и кинетическая энергия относительного движения. Изменение кинетической энергии системы и работа всех сил, действующих на входящие в нее частицы.

Потенциальные силы взаимодействия между частицами системы. Работа внешних и внутренних потенциальных сил при изменении конфигурации системы. Потенциальная энергия частиц во внешнем поле и потенциальная энергия взаимодействия частиц системы. Механическая энергия системы взаимодействующих тел и закон ее изменения. Консервативные и диссипативные системы взаимодействующих тел.

Упругие столкновения частиц. Применение законов сохранения энергии и импульса к процессам столкновений. Столкновения макроскопических тел и атомные столкновения. Лабораторная система отсчета и система центра масс. Предельный угол рассеяния налетающей частицы на более легкой неподвижной частице. Угол рассеяния и угол разлета частиц после столкновения. Передача энергии при упругих столкновениях. Замедление нейтронов. Роль столкновений в процессах релаксации и установления теплового равновесия. Ограничения на возможности передачи энергии при большом различии масс сталкивающихся частиц.

Системы единиц в механике. Основные и производные единицы. Эталоны. Размерность физической величины. Метод анализа размерностей и его применения в физических задачах. [1], 86 – 88, [5], гл. 1.

6. Основы релятивистской динамики

Релятивистский импульс частицы. Релятивистская энергия. Кинетическая энергия и энергия покоя. Связь энергии и импульса частицы. Преобразование энергии и импульса частицы при переходе в другую систему отсчета. Четырехвектор энергии-импульса частицы. Релятивистский закон сохранения энергии-импульса частицы. Масса и энергия. Эквивалентность энергии и релятивистской массы. Закон сохранения энергии и массы. Энергия связи атомных ядер. Превращения энергии и массы покоя в ядерных реакциях. Реакции деления тяжелых ядер и синтеза легких ядер. Простые задачи релятивистской динамики. Движение частицы в однородном постоянном поле, движение заряженной частицы в однородном магнитном поле. [3], 12.4 – 12.5, 13.1 – 13.2.

7. Тяготение и движение в гравитационных полях

Гравитационное взаимодействие. Закон всемирного тяготения. Гравитационная масса. Напряженность гравитационного поля. Принцип суперпозиции. Гравитационное взаимодействие шарообразных тел. Экспериментальное определение гравитационной постоянной. Опыт Кэвэндиша. Потенциальная энергия точки в гравитационном поле. [1], 55.

Движение в поле тяготения. Законы движения планет, комет и искусственных спутников. Законы Кеплера. Применение законов сохранения энергии и момента импульса к исследованию кеплерова движения. Космические скорости. Круговая скорость. Скорость освобождения. [1], 56 – 57, 60 – 61.

8. Кинематика и динамика абсолютно твердого тела

Число степеней свободы твердого тела. Параллельный перенос и поворот. Частные виды движения твердого тела. Поступательное движение. Вращение вокруг фиксированной оси. Винтовое движение. Плоское движение твердого тела. Разложение плоского движения на поступательное движение и вращение. Вектор угловой скорости. Мгновенная ось вращения. Выражение линейной скорости точек твердого тела через радиус-вектор и вектор угловой скорости. Ускорение точек твердого тела. Вращение вокруг неподвижной точки. Сложение вращений. Разложение угловой скорости на составляющие. Общий случай движения твердого тела. [1], 45 – 47.

Основы динамики абсолютно твердого тела. Моменты внешних сил и условия равновесия (статика). Нахождение сил реакции и статически неопределимые системы. [1], 44. Принцип виртуальных перемещений. Динамика вращения вокруг фиксированной оси. Момент инерции. Моменты инерции однородных тел (стержня, диска, шара, конуса, бруска и т.п.). Моменты инерции относительно параллельных осей (теорема Гюйгенса - Штейнера). [3], 38 – 39. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела. [3], 41 – 42. Физический маятник. Приведенная длина и центр качаний. Свойство обратимости. [1], 41. Динамика плоского движения твердого тела. Применение уравнения моментов относительно движущегося полюса. Скатывание цилиндра с наклонной плоскости. Маятник Максвелла. Кинетическая энергия твердого тела при плоском движении. Момент импульса абсолютно твердого тела и его связь с вектором угловой скорости. Тензор инерции. Главные оси инерции. Свободное вращение вокруг главных осей инерции. Устойчивость свободного вращения вокруг главных осей инерции. Свободное вращение симметричного волчка. Регулярная прецессия (нутация). Геометрическая интерпретация свободной прецессии для вытянутого и сплющенного симметричного волчка.

Влияние внешних сил на вращающееся твердое тело. Волчок в кардановом подвесе. Гироскоп. Приближенная теория гироскопа. Вынужденная прецессия гироскопа (псевдoreгулярная прецессия и нутация). Прецессия земной оси. [1], 60.

9. Законы движения в неинерциальных системах отсчета

Силы инерции в поступательно движущихся неинерциальных системах. Принцип относительности, первый закон Ньютона и происхождение сил инерции. Системы отсчета, свободно падающие в гравитационном поле. Невесомость. Принцип эквивалентности. Пропорциональность инертной и гравитационной масс. опыты Галилея, Ньютона, Бесселя, Этвеша и Дикке. Локальный характер принципа эквивалентности. Приливные силы в неоднородном гравитационном поле.

Вращающиеся системы отсчета. Осестремительное и кориолисово ускорения. Центробежная и кориолисова силы инерции. Отклонение отвеса от направления на центр Земли. Динамика движения материальной точки вблизи поверхности Земли при учете вращения Земли. Интегрирование уравнений свободного движения методом последовательных приближений. Отклонение свободно падающего тела от вертикали. Маятник Фуко. Угловая скорость поворота плоскости качаний на полюсе и в произвольной точке Земли. [1], 65 – 68.

10. Механика деформируемых тел, жидкостей и газов

Основы механики деформируемых тел. Деформации сплошной среды. Однородная и неоднородная деформация. Упругая и пластическая деформация. Предел упругости и остаточная деформация. Деформации и механические напряжения. Упругие постоянные. Закон Гука.

Виды упругих деформаций. Одноосное растяжение и сжатие. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Деформация изгиба. Энергия упруго деформированного тела. Суперпозиция деформаций. Деформация сдвига. Связь модуля сдвига материала с модулем Юнга и коэффициентом Пуассона. Деформация кручения цилиндрического стержня (упругой нити). Модуль кручения. Деформация всестороннего (гидростатического) сжатия. Выражение модуля всестороннего сжатия через модуль Юнга и коэффициент Пуассона. [1], 73 – 79.

Законы гидростатики. Давление в жидкости и газе. Массовые и поверхностные силы. Гидростатика несжимаемой жидкости. Равновесие жидкости и газа в поле тяжести. Барометрическая формула. Равновесие тела в жидкости и газе. Устойчивость равновесия. Плавание тел. Устойчивость плавания. Метацентр.

Стационарное течение жидкости. Поле скоростей движущейся жидкости. Линии и трубки тока. Уравнение неразрывности. Идеальная жидкость. Закон Бернулли. Динамическое давление. Истечение жидкости из отверстия. Формула Торричелли. Вязкость жидкости. Стационарное ламинарное течение вязкой жидкости по трубе. Формула Пуазейля. Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса. Гидродинамическое подобие. Турбулентность и гидродинамическая неустойчивость. Обтекание тел жидкостью и газом. Лобовое сопротивление и подъемная сила. Парадокс Даламбера. Разрывные течения. Пограничный слой. Потенциальные и вихревые течения. Отрыв потока и образование вихрей. Подъемная сила крыла самолета. Эффект Магнуса. [1], 89 – 100 или [3], 72 – 78.

11. Основы молекулярно-кинетической теории

Молекулярный и макроскопический уровни описания вещества. Массы и размеры молекул. Физические модели строения вещества. Понятие сплошной среды. Молекулярно-кинетический и термодинамический (феноменологический) методы теоретического исследования вещества.

Молекулярно-кинетическая теория равновесных свойств идеального газа. Распределение молекул по скоростям. Пространство скоростей. Принцип детального равновесия. Распределение Максвелла для проекции скорости, вектора скорости и для абсолютного значения скорости. Свойства максвелловского распределения и характеристические скорости. Молекулярные пучки. Экспериментальные исследования распределения молекул по скоростям. [3], 99 или [6], 76. Распределение по скоростям в смеси газов. Распределение молекул по энергиям.

Уравнение состояния идеального газа. Эмпирические газовые законы и уравнение Клапейрона-Менделеева. Давление газа как импульс, передаваемый стенке ударами молекул. Основное уравнение кинетической теории идеального газа и уравнение состояния. Законы Дальтона и Авогадро. Смеси идеальных газов. [3], 86, 94 – 96 или [6], 59 – 60, 75 Распределение Больцмана и барометрическая формула. [6], 77.

Внутренняя энергия идеального газа. Классическая теория теплоемкости идеального газа. Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Поступательные, вращательные и колебательные степени свободы молекул. Недостаточность классической теории теплоемкости и основы квантовых представлений. [3], 97 или [6], 62 – 63, 66, 69

12. Явления переноса в газах

Взаимодействие молекул. Представления о природе межмолекулярных взаимодействий. Модельные потенциалы взаимодействия молекул. Столкновения молекул. Эффективное сечение рассеяния. Средняя частота столкновений молекул. Среднее время и длина свободного пробега молекул.

Макроскопические уравнения переноса. Диффузионный и тепловой потоки. Перенос импульса при вязком течении. Материальные соотношения для диффузионного и вязкого потоков (законы Фика и Фурье) и вязкого напряжения (закон Ньютона). Коэффициенты диффузии, вязкости и теплопроводности. Молекулярно-кинетическое уравнение переноса. Температурная и концентрационная зависимость коэффициентов диффузии, вязкости и теплопроводности. Явления переноса в ультраразреженном газе. Получение и измерение высокого вакуума. Скорость откачки, паразитный объем и предельный вакуум. Многоступенчатый насос. [3], 128 – 133 или [6], 86 – 95.

13. Флуктуации и броуновское движение

Закон случайных блужданий. Случайные блуждания и диффузионный поток. Дрейфовый и диффузионный потоки в потенциальном поле. Броуновское движение. Соотношение Эйнштейна между подвижностью частицы и коэффициентом диффузии. [6], 64. Зависимость среднего квадрата абсолютной и относительной флуктуации от числа частиц в системе. Средний квадрат флуктуации числа частиц в элементе объема идеального газа, флуктуации плотности и флуктуации объема.

14. Принципы термодинамики

Термодинамические системы и термодинамические переменные. Состояние термодинамического равновесия. Параметры системы и функции состояния. Внешние и внутренние переменные. Экстенсивные и интенсивные переменные. Механическое и термическое равновесие. Температура как параметр термического равновесия. Эмпирические температурные шкалы. Термические уравнения состояния.

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия системы. Механическая работа и теплота. Молекулярно-кинетический смысл работы и теплоты.

Равновесные процессы в идеальном газе. Изохорическая и изобарическая теплоемкости. Адиабатический процесс и уравнение Пуассона. Политропические процессы. Работа и теплота на p - V -диаграмме.

Обратимые и необратимые процессы. Равновесный цикл Карно с идеальным газом. Тепловой двигатель, холодильная машина и тепловой насос. Коэффициенты полезного действия и эффективности. Необратимость релаксационных процессов. Второе начало термодинамики. Различные формулировки второго начала и их эквивалентность. Термодинамическая шкала температуры. Энтропия и неравенство Клаузиуса. Изменение энтропии при неравновесных процессах.

Статистический характер второго начала термодинамики. Энтропия и вероятность. Направленность макроскопических процессов. Микроскопическая обратимость и макроскопическая необратимость. [3], 81 – 85, 87 – 90, 104 – 106 или [6], 11 – 15, 21, 28 – 31, 37 – 41. Энтропия и информация. Процессы самоорганизации в сильно неравновесных открытых системах.

15. Реальные газы и фазовые превращения. Твердые тела и жидкости

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы реального газа и изотермы Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний. Двухфазные состояния и равновесие фаз. Насыщенный пар. Критическое состояние вещества.

Поверхностное натяжение и капиллярные явления. Поверхностная свободная энергия. Давление под искривленной поверхностью. Подъем жидкости в капилляре. Метастабильные состояния в системе жидкость—пар. Кипение жидкости. Камера Вильсона и пузырьковая камера.

Симметрия кристаллов. Элементы точечной и трансляционной симметрии кристаллической решетки. Классификация кристаллов по симметрии. Физические типы кристаллических решеток: ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы. Дефекты (точечные и линейные) кристаллической решетки. Жидкокристаллическое состояние.

Характер теплового движения в кристаллах. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Температурная зависимость теплоемкости. Нормальные колебания кристаллической решетки и теория теплоемкости Дебая. Тепловое расширение кристаллов.

Диаграмма состояний системы газ—жидкость—кристалл. Тройная точка. [3], 91, 121 – 127, [6], 68, 98, 100 – 102, 106, 109, 111, 113, 116 – 117, 119.

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Темы «Колебания» и «Волны» не включены в данную программу. В соответствии с учебным планом для студентов отделения прикладной математики и физики, изучение колебаний предусмотрено в отдельном курсе «Теория колебаний», читаемом во втором семестре. Тема «Волны» изучается в разделах «Основы электродинамики» и «Оптика» общего курса физики, которые читаются во втором и третьем семестрах.

2. Весь материал, указанный в программе, не может быть полностью изложен в лекциях, предусмотренных учебным планом. Программа может быть выполнена только при полном использовании лекций, семинарских занятий, лабораторного практикума, а также времени для самостоятельной работы студентов. Цветным шрифтом в программе выделен материал, предназначенный для самостоятельного изучения. Литература по этим вопросам указана в соответствии с приводимым ниже списком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики, т. 1. Механика. М., «Наука», 1989.
2. Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман. БКФ, т. 1. Механика. М., «Наука», 1971.
3. И. В. Савельев. Курс общей физики, т. 1. М., «Наука», 1977.
4. Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. Курс общей физики. М., «Наука», 1969.
5. А. Г. Аленицын, Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. Краткий физико-математический справочник. М., «Наука», 1990.
6. Д. В. Сивухин. Общий курс физики, т. 2. Молекулярная физика и термодинамика. М., «Наука», 1989.
7. А. Н. Матвеев. Механика и теория относительности (2-е издание). М., "Высшая школа", 1986.