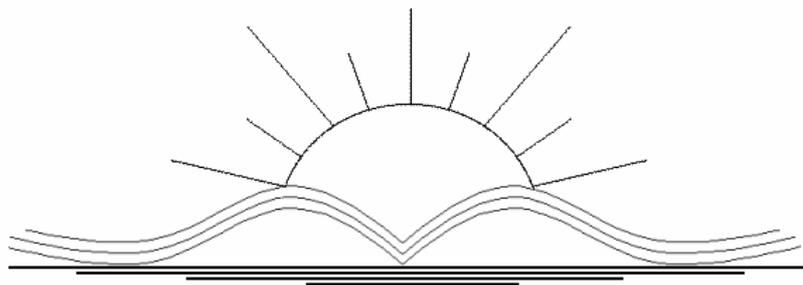
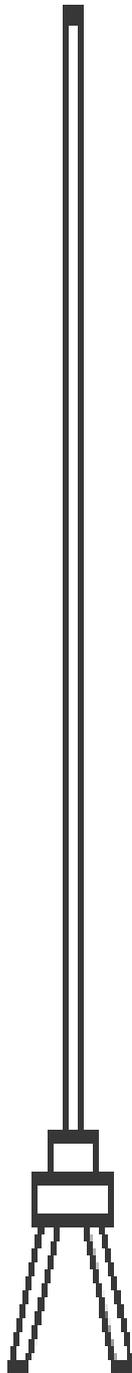


ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

А.А.Кулиш

Физика

*Программа, методические указания
и задачи для студентов заочников
(с примерами решения)*



Владимир 2002

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра общей и прикладной физики

Физика

Программа, методические указания и задачи для студентов заочников
(с примерами решения)

Под редакцией А.А. Кулиша

Владимир 2002

УДК...53(07)

Составители:

А.Ф. Галкин, А.А. Кулиш, В.Н. Кунин, В.С. Плешивцев

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент Владимирского
государственного университета

А.В. Гончаров

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета.

Физика. Программа, методические указания и задачи для студентов-заочников (с примерами решения)./ Владим. гос. ун-т; Сост. А.Ф. Галкин, А.А. Кулиш, В.Н. Кунин, В.С. Плешивцев; Под ред. А.А. Кулиша. Владимир, 2002. 111с.

Программа по физике соответствует требованиям государственных стандартов инженерно-технических специальностей вузов и включает разделы: механика, молекулярная физика, электромагнетизм, колебания и волны, оптика. Методические указания направлены на организацию самостоятельной работы студентов заочной формы обучения.

Уровень сложности задач соответствует задачникам, широко используемым в учебном процессе высшей школы.

Предназначены для студентов заочной формы обучения. Может быть использовано студентами дневной и вечерней форм обучения.

Программа и методические указания составлены проф. В.Н. Куниным, задачи и контрольные задания разработаны доц. А.Ф. Галкиным и доц. В.С. Плешивцевым, примеры решения задач – доц. А.А. Кулишом.

Табл. ..., Ил. ..., Библиогр.23 назв.

УДК...53(07)

Ощущение тайны – наиболее прекрасное из доступных нам переживаний. Именно это чувство стоит у колыбели истинного искусства и настоящей науки.

А. Эйнштейн

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА ФИЗИКИ, ЕГО МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Физика – наука о первичных формах материи, взаимодействия этих форм материи и их движениях. Поскольку формы материи, ее движения и взаимодействия составляют предмет физики, встречаются в любых материальных системах, физике принадлежит исключительное место: она является основой всего современного естествознания. Сама физика как наука показывает тот идеал, к которому должна стремиться любая область знаний, когда на основании сравнительно небольшого числа экспериментально обоснованных принципов, опираясь на мощный математический аппарат, можно логически совершенно строго вывести массу следствий и точно предсказать конечный результат процесса по исходным данным.

Последовательное изучение физики вырабатывает специфический метод мышления, физическую интуицию, которые оказываются весьма плодотворными и в других науках. Специалисты, получившие широкое физико-математическое образование, могут самостоятельно осваивать новые технические направления, успешно работать в них, легко переходить от решения одних задач к другим, искать нестандартные и нетрадиционные пути, что особенно важно для профессиональной мобильности специалистов в условиях ускоренного развития техники, когда амортизация достижений конкретных узкоспециальных знаний происходит чрезвычайно быстро.

В век научно-технической революции и всеобщего прогресса человечества роль физики сильно возрастает не только как технической науки, рождающей целые отрасли производства, но и как фундаментальной, мировоззренческой: она дает современную физическую картину мира как философскую категорию.

Важнейшая цель высшего образования – получить общее научное представление о природе и методах ее познания. Физика как ведущая наука о природе играет главную роль в достижении этой цели. Физика наглядно демонстрирует известное ленинское положение теории познания: от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике – таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности.

По своему содержанию и научным методам исследования физика является могучим средством образовательного и воспитательного воздействия, помогая развитию умственных способностей, формированию научного мировоззрения, воспитанию воли и характера при достижении поставленной цели. Возникающее в процессе творческого поиска стремление к истине вызывает чувство непредвзятости и справедливости, вырабатывает объективное отношение ко всему. Занятие физикой дает человеку истинно эстетическое наслаждение красотой научной теории, описывающей законы гармонии окружающего мира, и развивает в нем чувство прекрасного. Все это – качества, необходимые для настоящего интеллекта, наделенного чистой совестью и высокой нравственностью. Далекое не случайно, что ведущие физики XX века, М. Склодовская-Кюри, А. Эйнштейн, Н. Бор, А. Сахаров и другие, были величайшими гуманистами.

Инженер работает в мире техники, где все определяется физическими законами, и среди людей, с которыми он имеет дело в своей практической деятельности. Физика призвана обеспечить ту научную базу, на которой в высшей технической школе строится общеинженерная и специальная подготовка, и способствовать формированию высокообразованного и интеллигентного специалиста.

Основными задачами курса физики являются:

1. Изучение основных физических явлений и идей; овладение фундаментальными понятиями, принципами, законами и теориями классической и современной физики, а также методами физического исследования.

2. Формирование научного мировоззрения и современного физического мышления.

3. Овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики, помогающих студентам в дальнейшем решать практические задачи.

4. Ознакомление с современной научной аппаратурой, выработка навыков проведения физического эксперимента и результатов измерений.

5. Формирование умения выделить конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей специальности.

В современном естествознании широко применяются математические методы. Для успешного усвоения курса физики студентам необходимо знать следующие разделы высшей математики:

1. Дифференциальное исчисление.
2. Интегральное исчисление.
3. Ряды.
4. Векторная алгебра и элементы векторного анализа.
5. Функции комплексного переменного.
6. Дифференциальные уравнения.
7. Элементы теории вероятностей и математической статистики.

При этом важно овладеть математической техникой, т.е. навыками правильно и быстро вычислять.

В современных условиях решение вышеуказанных задач требует от студентов компьютерной “грамотности” и знание основ программирования.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение курса физики в нашем университете для большинства специальностей состоит из очных занятий (лекции, практические занятия, лабораторные работы, консультации) и самостоятельной работы студента (изучение курса по конспектам лекций, рекомендованным учебникам и учебным пособиям, выполнение домашнего задания, подготовка к выполнению лабораторных работ, вычисление расчетно-графических и курсовых работ, написание рефератов.). По курсу физики согласно учебным планам сдаются зачеты и экзамены по следующим разделам:

1. Механика. Основы молекулярной физики и термодинамики.
2. Электричество и магнетизм. Колебания и волны. Оптика.

Текущая работа студентов над курсом физики контролируется проведением коллоквиумов и контрольных работ, защитой лабораторных и расчетно-графических работ. Зачеты и экзамены – итоговая проверка усвоения учебной программы, при которой студент демонстрирует

знания по пройденным разделам курса. К экзаменам допускаются только те студенты, которые полностью выполнили план данного семестра и получили за него все зачеты, предусмотренные в учебном плане.

Высшая школа отличается от средней коренным образом методикой преподавания и степенью самостоятельности обучаемых. Преподаватель занимается в основном организацией познавательной деятельности студентов, а само познание осуществляется каждым студентом лично. Завершая задачи всех других видов учебной работы, в вузе основополагающую роль играет самостоятельная работа студента, доля которой в процессе учебы возрастает от первого к старшим курсам. Поэтому каждый студент как можно раньше должен войти в этот новый для него темп учебной жизни.

В процессе работы над курсом рекомендуется руководствоваться программой по физике. Пользуясь конспектом лекций, учебником и другими учебными пособиями, сначала нужно ознакомиться в целом с материалом, подлежащим изучению, после чего работать над отдельными частями, детально рассматривая как качественную сторону вопроса (описание явлений, физических факторов, от которых они зависят, описание приборов и проч.), так и количественную. Для этого необходимо воспроизводить приведенные в конспекте и книге чертежи, выводы формул и графики. Разбор математической стороны учебного материала не надо отрывать от его физического содержания.

При изучении курса следует постоянно работать над конспектом лекций. В нем должны быть сделаны все необходимые уточнения и дополнения. Особое внимание следует обратить на точность формулировок определений, законов, а также единиц физических величин. После рассмотрения вопросов программы полезно прочитать дополнительную литературу по рекомендации лектора и дополнить конспект. Теперь он может служить основой для подготовки к экзамену.

В овладении знаниями по физике большую роль играет систематическое решение задач. Оно помогает анализировать физические явления и выделить обуславливающие их главные факторы, способствует более глубокому пониманию применяемых законов, закрепляет в памяти основные формулы, фундаментальные константы и другие полезные данные, прививает навыки практического применения теории и развивает творческое мышление.

При самостоятельном решении задач целесообразно соблюдать следующие правила:

- выбрать систему единиц, которая наиболее удобна для решения данной задачи, выразить все величины, входящие в условие задачи, в единицах данной системы и выписать их для наглядности столбиком;
- дать схематический чертеж (где это возможно), поясняющий содержание задачи;
- провести решение в общем виде, в буквенных обозначениях, без подстановки числовых значений в промежуточные формулы;
- проверить, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины;
- подставить в окончательную формулу числовые значения и указать единицу физической величины для полученного результата;
- при подсчете определить количество значащих цифр, пользуясь правилами приближенных вычислений;
- получив числовой ответ, оценить его правдоподобность.

Задания расчетно-графической работы необходимо выполнить письменно и сдать преподавателю.

Цель лабораторных занятий – углубить теоретические представления студента, ознакомить его с современной научной аппаратурой, выработать у него начальные навыки проведения физических экспериментов и оценки погрешностей измерений.

Перед работой в лабораториях физики студенты проходят инструктаж по общим вопросам техники безопасности и на рабочих местах. На лабораторные занятия студенты должны приходиться подготовленными. К выполнению работы приступают только после получения допуска.

По окончании работы каждый студент должен получить от преподавателя пометку о выполнении и номер работы на следующее занятие. К следующему занятию студент обязан представить отчет о проделанной работе, защитить ее и получить по ней зачет. В зависимости от учебного плана в течение семестра студенты выполняют 5-10 лабораторных работ.

ПРОГРАММА

I. Механика

1. Введение. Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Важнейшие этапы истории физики. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Роль физики в становлении специалиста. Связь физики с другими науками. Успехи современной физики.

2. Некоторые сведения из математики. Роль математики в изучении физики. Функции и их производные. Интегрирование. О смысле производной и интеграла в приложении к физическим задачам. Элементы векторной алгебры: определение вектора, сложение векторов, умножение векторов, дифференцирование векторных величин. Дифференциальные уравнения. Элементарные сведения из теории вероятности.

3. Кинематика поступательного движения. Механическое движение как простейшая форма движения материи. Материальная точка. Системы отсчета. Инерциальные системы отсчета. Радиус-вектор. Принцип относительности Галилея. Траектория. Радиус кривизны траектории. Скорость и ускорение. Тангенциальное и нормальное ускорения. Связь между линейными и угловыми кинематическими величинами. Поступательное движение твердого тела.

4. Динамика поступательного движения. Динамика как раздел механики. Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы отсчета. Второй закон Ньютона. Понятие силы, массы и импульса. Уравнение движения. Третий закон Ньютона. Неинерциальные системы отсчета. Абсолютные и относительные скорость и ускорение. Силы инерции. Система материальных точек. Центр инерции (центр масс). Теорема о движении центра инерции.

5. Вращательное движение твердого тела. Понятие абсолютного твердого тела. Момент силы. Момент импульса. Момент инерции. Теорема Штейнера. Основной закон динамики вращательного движения. Уравнение вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела. Гироскопический эффект. Свободные оси.

6. Законы сохранения. Значение и содержание законов сохранения в механике. Закон сохранения импульса. Однородность пространства. Реактивное движение. Закон сохранения момента импульса. Изотропия пространства. Работа, энергия, мощность. Связь между потенциальной энергией и силой. Понятие силового поля. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения

энергии в механике. Однородность времени. Консервативная и диссипативная системы.

7. Элементы механики жидкостей и газов. Жидкости и газы. Задачи механики жидкостей и газов. Уравнение движения в форме Эйлера. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Система уравнений газодинамики. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Циркуляция скорости. Потенциальное и вихревое движения. Теорема Жуковского.

8. Элементы специальной теории относительности. Принцип относительности Эйнштейна. Роль скорости света. Постулат постоянства скорости света. Преобразования Лоренца. Пространство и время в специальной теории относительности. Инварианты преобразования. Лоренцово сокращение длины и замедление времени. Релятивистский импульс. Взаимосвязь массы и энергии. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Границы применимости классической (ньютоновской) механики. Философское толкование пространственно-временных отношений.

II. Основы молекулярной физики и термодинамики

9. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа. Основные положения молекулярно-кинетической теории вещества. Микро- и макросостояния системы. Макроскопические параметры. Понятие идеального газа. Молекулярно-кинетическое толкование температуры. Число степеней свободы молекулы. Внутренняя энергия идеального газа. Закон равнораспределения энергии. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона - Менделеева).

10. Элементы классической статистики. Динамические и статические закономерности в физике. Статистический метод исследования системы. Фазовое пространство, фазовая ячейка. Понятие о функции распределения. Статистическое усреднение. Флуктуация и вероятность. Распределение Максвелла. Распределение молекул по скоростям. Средние скорости молекул. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение Максвелла – Больцмана.

11. Реальные газы. Силы межмолекулярного взаимодействия в газах. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы реального газа. Метастабильные состояния. Критическое состояние. Внутренняя энергия реального газа. Эффект Джоуля – Томсона. Сжижение газов и получение низких температур.

12. Свойства жидкостей. Характеристика жидкого состояния. Объёмные свойства жидкостей. Строение жидкостей. Ближний порядок. Поверхностное натяжение. Силы, возникающие на кривой поверхности жидкости. Формула Лапласа. Условия равновесия на границе двух сред. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления.

13. Свойства твердых тел. Амфорные и кристаллические тела. Упругая и пластическая деформации. Закон Гука. Кристаллическая решетка. Дальний порядок. Дефекты в кристаллах.

14. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Фазы вещества. Условия равновесия фаз. Испарение и конденсация. Плавление и кристаллизация. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма (диаграмма состояния). Тройная точка. Полиморфизм. Фазовые переходы первого и второго рода.

15. Элементы теории столкновений. Понятие столкновения. Упругое и неупругое столкновения. Прицельное расстояние. Рассеяние частиц. Эффективное сечение рассеяния. Средняя длина свободного пробега. Принцип детального равновесия.

16. Элементы физической кинетики. Понятие о физической кинетике. Неравновесные системы. Время релаксации. Явления переноса. Диффузия. Коэффициент диффузии. Теплопроводность. Температуропроводность. Коэффициент теплопроводности. Вязкость (внутреннее трение). Коэффициент вязкости. Динамическая и кинематическая вязкость.

17. Первое начало термодинамики. Статистический и термодинамический методы. Термодинамическая система. Термодинамический процесс. Основные термодинамические понятия: внутренняя энергия, работа, теплота. Формулировки первого начала термодинамики. Уравнение первого начала термодинамики. Теплоёмкость. Зависимость теплоёмкости идеального газа от вида процесса. Формула Майера. Работа, совершаемая газом при изопроцессах. Адиабатический процесс. Энтальпия (тепловая функция). Теплоёмкость твердых тел. Недостаточность классической теории теплоёмкостей газов.

18. Второе начало термодинамики. Равновесные и неравновесные состояния системы. Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Формулировки второго начала термодинамики. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Тепловые двигатели и холодильные машины. Максимальный КПД теплового двигателя. Энтропия. Статистический вес (термодинамическая вероятность). Закон возрастания энтропии. Термодинамические потенциалы и условия равновесия. Статистическое толкование второго начала термодинамики.

III. Электричество и магнетизм

19. Элементы теории поля. Скалярные и векторные поля в физике. Градиент скалярного поля. Дивергенция векторного поля. Ротор векторного поля. Оператор Гамильтона (оператор набла). Оператор Лапласа (лапласиан). Некоторые интегральные теоремы.

20. Напряжённость электростатического поля в вакууме. Электрический заряд. Сохранение заряда. Дискретность заряда. Закон Кулона. Понятие электростатического поля. Силовые линии (линии напряжённости). Концепции близко- и дальнего действия. Принцип суперпозиции электростатических полей. Поток вектора напряжённости. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме и её связь с законом Кулона. Дифференциальная форма теоремы Гаусса. Применение теоремы Гаусса для расчета полей.

21. Потенциал электростатического поля в вакууме. Работа сил электростатического поля. Циркуляция напряжённости электростатического поля. Потенциальность (консервативность) электростатического поля. Потенциал. Разность потенциалов. Связь между потенциалом и напряжённостью электростатического поля. Уравнение Лапласа. Электрический диполь. Дипольный момент. Потенциал и напряжённость поля диполя. Момент сил, действующий на диполь во внешнем электрическом поле. Энергия диполя в электрическом поле.

22. Электрическое поле в диэлектриках. Свободные и связанные заряды в веществе. Сторонние заряды. Полярные и неполярные молекулы. Типы диэлектриков. Ионная, электронная и ориентационная поляризация. Поляризуемость молекулы. Поляризованность (вектор поляризации). Однородная и неоднородная поляризации. Связь

поляризованности с поверхностной плотностью поляризованного заряда. Диэлектрическая восприимчивость вещества и её зависимость от температуры. Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектрике. Электрическое смещение (электрическая индукция) в диэлектрике. Диэлектрическая проницаемость среды. Вычисление напряженности электрического поля в диэлектрике. Граничные условия для электрического поля на границе раздела “диэлектрик – диэлектрик”. Сегнетоэлектрики.

23. Электрическое поле проводников. Распределение зарядов в проводнике. Идеальный проводник. Электростатическое поле внутри и снаружи проводника. Граничные условия на границе “проводник – вакуум”. Электрические свойства проводящей оболочки. Электростатическая защита. Метод изображений. Граничные условия на границе “проводник – диэлектрик”. Электроёмкость удлинённого проводника, системы проводников и конденсатора. Электрическая энергия системы точечных зарядов. Энергия заряжённого проводника, системы проводников и конденсатора. Энергия электростатического поля. Объёмная плотность энергии электростатического поля.

24. Постоянный электрический ток. Характеристики электрического тока: плотность тока, сила тока. Условие существования электрического тока. Сторонние силы. Разность потенциалов, напряжение, электродвижущая сила (ЭДС). Классическая электронная теория электропроводности металлов. Законы Ома и Джоуля-Ленца в дифференциальной и интегральной форме. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Правила Кирхгофа. Электрический ток в сплошной среде. Разрядка и зарядка конденсатора. Недостаточность классической электронной теории электропроводности. Границы применимости закона Ома.

25. Элементы физической электроники. Электрический ток в вакууме. Электронная эмиссия. Работа выхода электронов из металла. Электрический ток в газе. Процессы ионизации и рекомбинации. Потенциал ионизации. Ударная ионизация. Несамостоятельный газовый разряд. Самостоятельный газовый разряд. Вольт-амперная характеристика газового разряда. Виды разрядов.

26. Плазма. Понятие о плазме. Способы создания плазмы. Квазинейтральность плазмы. Электропроводность плазмы. Дебаевский радиус (дебаевская длина) экранирования. Плазменная частота. Низкотемпературная плазма. МГД-преобразование энергии.

Высокотемпературная плазма. Перспектива осуществления управляемого термоядерного синтеза. Вклады ученых разных стран в изучение проблемы управляемого термоядерного синтеза.

27. Магнитное поле в вакууме. Закон Ампера. Магнитная индукция. Закон Био-Савара-Лапласа. Понятие магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей. Сила Лоренца и сила Ампера. Магнитное поле прямолинейного и кругового токов. Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока (теорема о циркуляции магнитного поля) в вакууме. Применение закона полного тока для расчета магнитных полей. Магнитное поле длинного соленоида и тороида. Единица силы тока – ампер. Вихревое поле движущегося заряда. Инвариантность электрического заряда. Магнитное поле как релятивистский эффект. Виток с током в магнитном поле. Магнитный момент. Потенциальная энергия витка с током в магнитном поле. Момент сил, действующий на рамку с током во внешнем магнитном поле.

28. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Движение заряженной частицы в электрическом поле. Движение заряженной частицы в совместном электрическом и магнитных полях. Эффект Холла. Масс-спектрограф и масс-спектрометр. Ускорители заряженных частиц.

29. Магнитное поле в веществе. Понятие магнитного момента атома. Микро- и макроток. Молекулярные токи. Намагниченность (вектор намагничивания). Связь намагниченности с плотностью поверхностного молекулярного тока. Магнитная восприимчивость вещества и её зависимость от температуры. Закон полного тока (теорема о циркуляции магнитного поля) в веществе. Напряжённость магнитного поля в веществе. Магнитная проницаемость среды. Индукция магнитного поля в веществе. Граничные условия для магнитного поля на границе раздела двух сред. Типы магнетиков. Точка Кюри. Домены. Кривая намагничивания.

30. Электромагнитная индукция. Опыт Фарадея. Магнитный поток. ЭДС индукции. Основной закон электромагнитной индукции (закон Фарадея). Вывод основного закона электромагнитной индукции из закона сохранения энергии, а также на основе электронной теории. Правило Ленца (закон Ленца). Явление самоиндукции. Индуктивность. Индуктивность длинного соленоида. Токи замыкания и размыкания цепи. Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Энергия

магнитного поля. Объёмная плотность энергии магнитного поля. Флюксметр.

IV. Колебания и волны

31. Механические колебания. Свободные (собственные) и вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение. Характеристики гармонических колебаний. Понятие о гармоническом осцилляторе. Энергия гармонических колебаний. Сложение одинаково направленных (скалярных) гармонических колебаний. Метод векторной диаграммы. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных (векторных) гармонических колебаний. Фигуры Лиссажу. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Аперидический процесс. Частота и коэффициент затухания. Логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы. Изохронность колебаний. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза при вынужденных механических колебаниях. Механический резонанс. Резонансные кривые. Соотношение между фазами вынуждающей силы и скорости при механическом резонансе.

32. Механические волны. Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Волновое уравнение и его решение. Гармонические волны и их характеристики. Ударные волны. Принцип суперпозиции волн и граница его применимости. Фазовая скорость и дисперсия волн. Волновой пакет и групповая скорость. Понятие о когерентности. Интерференция волн. Стоячие волны. Энергия и поток энергии упругой волны. Вектор Умова. Эффект Доплера для звуковых волн. Ультразвук.

33. Электромагнитные колебания. Дифференциальное уравнение колебаний в колебательном контуре и его решение. Дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний и его решение. Частота и коэффициент затухания электромагнитного колебания. Логарифмический декремент затухания и добротность контура. Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза при вынужденных электромагнитных колебаниях. Резонанс в колебательном контуре. Резонансные кривые для напряжения и силы тока. Переменный ток.

34. Электромагнитные волны. Фарадеевская и максвелловская трактовки явления электромагнитной индукции. Ток смещения. Электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла. Волновое уравнение для электромагнитного поля и его решение. Скорость распространения электромагнитных волн в средах. Основные свойства электромагнитных волн. Энергия и поток энергии электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Импульс электромагнитного поля. Излучение диполя. Диаграмма направленности. Эффект Доплера для электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн.

V. Оптика

35. Распространение света через границу двух сред. Электромагнитная природа света. Принцип Гюйгенса. Закон отражения и преломления. Абсолютный и относительный показатели преломления. Полное внутреннее отражение. Световоды. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Оптические инструменты.

36. Интерференция света. Монохроматические и немонхроматические волны. Понятие о разложении Фурье. Принцип суперпозиции и интенсивность при сложении световых волн. Когерентность световых волн. Время и длина когерентности. Оптическая длина пути. Оптическая разность хода. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Полосы равной толщины и равного наклона. Способы получения когерентных лучей. Интерферометры.

37. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля. Дифракция Френеля от круглого отверстия и круглого диска. Дифракция Френеля от края полуплоскости. Спираль Корню. Дифракция Фраунгофера от бесконечно длинной прямой щели. Дифракция от одномерной дифракционной решетки. Дифракция от двухмерной дифракционной решетки. Разрешающая способность оптических инструментов. Дифракция на трехмерной дифракционной решетке.

38. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Степень поляризации. Поляризация света при преломлении и отражении. Закон Брюстера. Поляризация при двойном лучепреломлении. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Оптическая ось кристалла.

Поляроиды и поляризационные призмы. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса. Полуволновые и четвертьволновые пластинки. Искусственная оптическая анизотропия. Оптическая активность вещества. Эффект Фарадея.

39. Дисперсия света. Затруднения в электромагнитной теории Максвелла. Нормальная и аномальная дисперсии. Методы наблюдения дисперсии. Призматический и дифракционный спектры. Электронная теория дисперсии света. Поглощение света. Закон Бугера. Цвета тел и спектры поглощения.

ВОПРОСЫ, ВХОДЯЩИЕ В ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

I. Механика

1. Методы физического исследования. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики.
2. Связь физики с другими науками. Успехи современной физики.
3. Механическое движение как простейшая форма движения материи. Система отсчета. Принцип относительности Галилея. Преобразование Галилея. Радиус-вектор.
4. Материальная точка (частица). Траектория. Радиус кривизны траектории. Линейная скорость и линейное ускорение. Поступательное движение твердого тела.
5. Тангенциальное и нормальное ускорение. Связь между линейными и угловыми кинематическими величинами.
6. Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы отсчета. Второй закон Ньютона и понятие силы, массы и импульса. Уравнение движения.
7. Неинерциальные системы отсчета. Абсолютные и относительные скорость и ускорение. Силы инерции.
8. Система материальных точек. Центр инерции (центр масс). Теорема о движении центра инерции.
9. Понятие абсолютно твердого тела. Момент инерции тела.
10. Момент силы. Момент импульса. Основной закон динамики вращательного движения. Уравнение вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси.

11. Теорема Штейнера.
12. Гироскопический эффект. Свободные оси.
13. Закон сохранения импульса и третий закон Ньютона.
14. Закон сохранения момента импульса.
15. Работа и энергия в механике. Энергия кинетическая и потенциальная.
16. Связь между потенциальной энергией и силой. Понятие силового поля.
17. Закон сохранения механической энергии.
18. Консервативные и неконсервативные силы. Консервативные и диссипативные системы.
19. Задачи механики жидкостей и газов.
20. Уравнение Эйлера.
21. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли.
22. Система уравнений газодинамики.
23. Циркуляция скорости. Потенциальное и вихревое движения. Теорема Жуковского.
24. Ламинарный и турбулентный режимы течения.
25. Принцип относительности Эйнштейна. Роль скорости света. Постулат постоянства скорости света. Преобразования Лоренца.
26. Пространство и время в специальной теории относительности. Инварианты преобразования.
27. Лоренцово сокращение длины и замедление времени.
28. Релятивистский импульс. Взаимосвязь массы и энергии.
29. Соотношение между полной энергией и импульсом частиц.

II. Основы молекулярной физики и термодинамики

1. Понятие идеального газа. Молекулярно-кинетическое толкование температуры. Макроскопические параметры системы.
2. Внутренняя энергия идеального газа. Число степеней свободы. Закон равнораспределения энергии.
3. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.
4. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева).

5. Динамические и статистические закономерности в физике. Статистический метод исследования системы. Понятие о функции распределения.
6. Фазовое пространство. Фазовая точка, фазовая ячейка. Статистическое усреднение.
7. Распределение Максвелла. Средние скорости молекул.
8. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
9. Статистика Максвелла-Больцмана. Распределение Гиббса.
10. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы реальных газов.
11. Метастабильное состояние. Критическое состояние.
12. Внутренняя энергия реального газа.
13. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов и получение низких температур.
14. Характеристика жидкого состояния. Ближний порядок.
15. Поверхностное натяжение. Силы, возникающие на кривой поверхности жидкости. Формула Лапласа. Смачивание и капиллярные явления.
16. Упругая и пластическая деформация твердых тел. Закон Гука. Кристаллическая решетка. Дальний порядок. Монокристаллы и поликристаллы.
17. Фазы вещества. Испарение и конденсация. Плавление и кристаллизация. Фазовые переходы первого и второго рода.
18. Понятие столкновения. Упругое и неупругое столкновение.
19. Прицельное расстояние. Эффективное сечение рассеяния. Средняя длина свободного пробега.
20. Явление переноса – диффузия.
21. Явление переноса – теплопроводность.
22. Явление переноса – вязкость.
23. Основные термодинамические понятия: внутренняя энергия, работа, теплота. Уравнение первого начала термодинамики.
24. Зависимость теплоемкости идеального газа от вида процесса. Работа, совершаемая газом при изопроцессах.
25. Адиабатический процесс.
26. Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл).
27. Цикл Карно и его КПД.
28. Принцип действия теплового двигателя и холодильной машины.
29. Энтропия. Закон возрастания энтропии.

30. Статистический вес (термодинамическая вероятность).
Статистическое толкование второго начала термодинамики.

III. Электричество и магнетизм

1. Закон Кулона. Понятие электростатического поля. Напряженность электростатического поля. Концепции близко- и дальнего действия. Принцип суперпозиции электрических полей.
2. Поток напряженности. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме.
3. Применение теоремы Гаусса для расчета полей.
4. Работа сил электростатического поля. Циркуляция напряженности электростатического поля.
5. Потенциал. Разность потенциалов. Связь между потенциалом и напряженностью электростатического поля.
6. Свободные и связанные заряды в веществе. Типы диэлектриков. Ионная, электронная и ориентационная поляризация.
7. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость вещества и ее зависимость от температуры.
8. Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектрике. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Напряженность электрического поля в диэлектрике.
9. Граничные условия для электрического поля на границе раздела “диэлектрик – диэлектрик”.
10. Распределение зарядов в проводнике. Электростатическое поле внутри и снаружи проводника. Граничные условия на границе “проводник – вакуум”.
11. Емкость уединенного проводника, системы проводников и конденсатора.
12. Энергия заряженных уединенного проводника, системы проводников и конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии электростатического поля.
13. Характеристики электрического тока и условия его существования. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение.
14. Классическая электронная теория электропроводности металлов и ее недостаточность.
15. Вывод законов Ома и Джоуля – Ленца из электронных представлений.

16. Ионизация молекул и рекомбинация ионов. Работа ионизации. Ударная ионизация.
17. Несамостоятельный и самостоятельный газы и разреженные газы.
18. Понятие о плазме. Способы создания плазмы. Квазинейтральность плазмы. Дебаевский радиус экранирования. Плазменная частота.
19. Низкотемпературная плазма. МГД- преобразование энергии.
20. Высокотемпературная плазма. Перспектива осуществления управляемого термоядерного синтеза.
21. Закон Ампера. Магнитная индукция. Закон Био и Савара. Понятие магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей.
22. Магнитное поле прямолинейного и круговых токов.
23. Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока. Магнитное поле длинного соленоида и тороида.
24. Магнитное взаимодействие токов и единица силы тока – ампер.
25. Инвариантность электрического заряда. Вихревое поле движущегося заряда. Магнетизм как релятивистский эффект.
26. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
27. Эффект Холла. Принцип действия ускорителей заряженных частиц.
28. Понятие магнитного момента атома.
29. Микро- и макроток. Молекулярные токи. Магнитная восприимчивость вещества и ее зависимость от температуры.
30. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость среды. Индукция магнитного поля в веществе.
31. Граничные условия для магнитного поля на границе раздела двух сред.
32. Типы магнетиков. Кривая намагничивания. Точка Кюри. Домены.
33. Опыт Фарадея. Магнитный поток. ЭДС индукции. Основной закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.
34. Самоиндукция и взаимная индукция. Индуктивность и взаимная индуктивность. Токи размыкания и замыкания.
35. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии магнитного поля.

IV. Колебания и волны

1. Свободные и вынужденные колебания. Гармонические механические колебания и их характеристики.
2. Энергия гармонических механических колебаний. Понятие о гармоническом осцилляторе.
3. Сложение одинаково направленных гармонических колебаний. Биения.
4. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний. Фигуры Лиссажу.
5. Затухающие механические колебания. Частота, коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания механических колебаний.
6. Вынужденные механические колебания. Амплитуда и фаза при вынужденных механических колебаниях.
7. Механический резонанс. Резонансные кривые. Соотношения между фазами вынуждающей силы и скорости при механическом резонансе.
8. Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Волновое уравнение и его решение. Гармонические волны и их характеристики.
9. Фазовая скорость и дисперсия волн. Волновой пакет и групповая скорость.
10. Понятие о когерентности. Интерференция волн. Стоячие волны.
11. Колебательный контур. Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики.
12. Затухающие электромагнитные колебания. Частота, коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания электромагнитных колебаний. Добротность колебательного контура.
13. Вынужденные электромагнитные колебания. Амплитуда и фаза вынужденных электромагнитных колебаний.
14. Фарадеевская и максвелловская трактовки явления электромагнитной индукции. Ток смещения.
15. Электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла.
16. Волновое уравнение для электромагнитного поля и его решение. Скорость распространения электромагнитных волн в средах.
17. Основные свойства электромагнитных волн. Энергия и поток энергии электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Импульс электромагнитного поля.

V. Оптика

1. Электромагнитная природа света. Принцип Гюйгенса. Закон отражения и преломления. Абсолютный и относительный показатели преломления. Полное внутреннее отражение. Световоды.
2. Когерентность и монохроматичность световых волн. Время и длина когерентности.
3. Оптическая длина пути. Оптическая разность хода. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников.
4. Полосы равной толщины и равного наклона.
5. Принцип Гюйгенса – Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске.
6. Дифракция Фраунгофера от бесконечно длинной прямой щели.
7. Дифракция Фраунгофера на одномерной дифракционной решетке.
8. Естественный и поляризованный свет. Поляризация при отражении и преломлении. Закон Брюстера.
9. Поляризация при двойном лучепреломлении. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Оптическая ось кристалла. Поляризационные призмы. Закон Малюса.
10. Затруднения в электромагнитной теории Максвелла. Нормальная и аномальная дисперсии. Методы наблюдения дисперсии.
11. Электронная теория дисперсии света.
12. Поглощение света. Цвета тел и спектр поглощения.

Темы практических занятий

Механика и молекулярная физика

1. Кинематика.
2. Динамика.
3. Вращательное движение твердого тела.
4. Законы сохранения.
5. Релятивистская механика.
6. Молекулярно-кинетическая теория газов.
7. Элементы статистической физики.
8. Реальные газы.
9. Физические основы термодинамики.

**Электричество и магнетизм. Колебания и волны.
Волновая оптика**

10. Электростатическое поле в вакууме.
11. Электрическое поле в диэлектриках.
12. Электрическое поле проводников.
13. Энергия электрического поля.
14. Электрический ток.
15. Магнитное поле в вакууме.
16. Магнитное поле в веществе.
17. Электромагнитная индукция.
18. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
19. Механические колебания.
20. Механические волны.
21. Электромагнитные колебания.
22. Электромагнитные волны.
23. Интерференция света.
24. Дифракция света.
25. Поляризация света.
26. Дисперсия света.

Список лабораторных работ

Механика и молекулярная физика

1. Определение статистических характеристик результатов измерения (1.1).
2. Определение плотности твердых тел с помощью пикнометра (1.2).
3. Определение скорости полета пули (1.3).
4. Изучение законов вращательного движения (1.4).
5. Определение модуля сдвига методом крутильных колебаний (1.6).
6. Изучение зависимости упругих сил от абсолютной линейной деформации растяжения в твердых телах и полимерах (1.7).
7. Определение модуля Юнга по растяжению (1.8).

8. Изучение коэффициента динамической вязкости воздуха и средней длины свободного пробега его молекул (2.1).
9. Измерение коэффициента динамической вязкости по методу падающего в жидкость шарика (2.2).
10. Измерение скорости звука и показателя адиабаты для воздуха (2.3).
11. Изучение зависимости скорости звука от температуры импульсным методом (2.4).
12. Определение коэффициента поверхностного натяжения воды (2.5).
13. Изучение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения жидкостей (2.6).
14. Определение показателя адиабаты для воздуха методом Клемана и Дезорма (2.7).
15. Исследование температурной зависимости коэффициента теплопроводности воздуха (2.8).
16. Определение молекулярной массы воздуха (2.9).

Электричество и магнетизм. Колебания и волны

17. Исследование электростатических полей методом электростатической ванны (3.1).
18. Баллистический гальванометр и его применение для измерения электроемкости и индуктивности (3.2).
19. Измерение электрических сопротивлений и удельных сопротивлений металлов (3.3).
20. Измерение электродвижущей силы методом компенсации (3.4).
21. Измерение емкости и индуктивности методом моста (4.1).
22. Измерение индуктивности катушки по ее реактивному и активному сопротивлению (4.2).
23. Изучение колебательного контура (4.3).
24. Изучение работы электронного осциллографа (4.4).
25. Исследование колебаний струны методом резонанса (4.5).
26. Изучение релаксационных колебаний (4.6).
27. Получение электромагнитных волн и изучение их свойств (4.7).

Оптика

28. Изучение микроскопа (5.1).
29. Исследование оптических систем (5.2).
30. Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона (5.3).

31. Изучение интерференционных полос равного наклона с помощью газового лазера (5.4).
32. Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки (5.5).
33. Изучение кристаллооптических явлений при помощи поляризационного микроскопа (5.6).
34. Определение концентрации растворов при помощи поляриметра (5.7).
35. Изучение эффекта Фарадея (5.8).
36. Определение показателя преломления и дисперсии твёрдых тел рефрактометром Пульфриха (5.9)
37. Определение удельной рефракции растворов сахара с помощью рефрактометра РПЛ-3 (5. 10).
38. Исследование зависимости показателя преломления газов от давления (5. 11).
39. Изучение поглощения света в твердых телах (5.12).
40. Определение показателя преломления, дисперсии и разрешающей способности стеклянной призмы гониометром-спектрометром(5.13).
41. Исследование прозрачности вещества (5.14).

Примерные темы курсовых работ

1. Физика – наука познания мира.
2. Пространство и время в физике.
3. Черные дыры во Вселенной.
4. Учения К.Э. Циолковского.
5. Моделирование процесса распространения ударной волны при взрывах в различных средах.
6. Кинетика и термодинамика биологических процессов.
7. Порядок и беспорядок в мире больших молекул.
8. Экспериментальные исследования электромагнитного поля Земли в области сверхнизких частот.
9. Шаровая молния и её природа.
10. Магнитное поле Земли.
11. Молния и её природа.
12. Электричество в живых организмах.
13. Электричество в атмосфере.

14. Лазерно-индуцированные гидродинамические волны.
15. Физические методы регистрации землетрясений.
16. Применение ультразвука в интроскопии.
17. Биография А.С. Попова.
18. Волоконно-оптические гироскопы.
19. Солнце.
20. Космологическое Красное смещение.

ПРОГРАММА КОЛЛОКВИУМОВ

Номер коллоквиума	Число часов	Тема	Вопросы, входящие в экзаменационные билеты и вопросы к коллоквиумам
1	2	Кинематика и динамика классической механики	I: 3–12
2	2	Молекулярно-кинетическая теория идеального газа и элементы классической статистики.	II: 1–9
3	4	Электростатика и постоянный ток	III: 1–15
4	4	Магнитное поле и электромагнитная индукция	III: 1–35
5	2	Механические колебания и	IV: 1–10

		ВОЛНЫ	
--	--	-------	--

ЗАЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Лекционный и теоретический материал

1. Представить конспект теоретического материала в соответствии с программой.
2. Уметь анализировать вопросы, входящие в экзаменационные билеты, используя конспект.

2. Лабораторные занятия

1. Выполнить обязательное число лабораторных работ в соответствии с учебным графиком.
2. Оформить отчеты по всем выполненным лабораторным работам и защитить их.
3. При защите каждой выполненной работы студент должен:
 - знать сущность физического явления, наблюдаемого в эксперименте, и теорию, на которой базируется работа;
 - иметь четкое представление об экспериментальной установке и аппаратуре, методике выполнения работы;
 - уметь оценить погрешности измерений.

3. Практические занятия и расчетно-графические работы

1. Прорешать рекомендованный список задач.
2. Уметь анализировать физическое содержание задач и представлять их условие схематически рисунком-чертежом.
3. Уметь осуществлять проверку размерности и пользоваться правилами приближенных вычислений.
4. Выполнить письменно расчетно-графические работы своего варианта и сдать для проверки преподавателю.

При проставлении зачета также учитывается выполнение студентом курсовой работы или написание реферата, участие в работе студенческого научного общества.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ
С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМАМ

Коллоквиум № 1

Кинематика и динамика классической механики

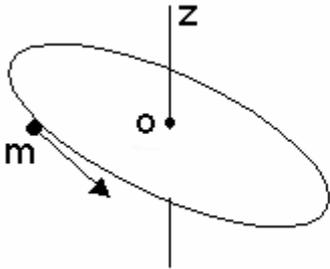
Вариант 1

1. Частица массой m движется замедленно по окружности с центром в точке O . Указать на рисунке

Вариант 2

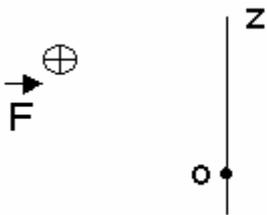
1. Однородный диск вращается с замедлением вокруг оси, проходящей через центр диска перпендикулярно плоскости

направления векторов угловой скорости $\vec{\omega}$, момента импульса \vec{L}_0 относительно точки O , проекцию момента импульса на ось z L_z , нормальное \vec{W}_n , тангенциальное \vec{W}_τ и полное ускорение.



2. Что называется моментом инерции тела?

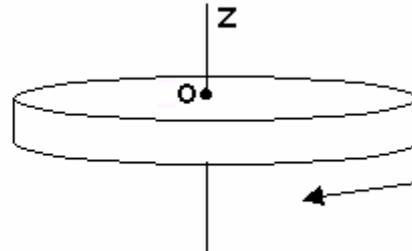
3. Что называется моментом силы? Указать на рисунке направление вектора момента силы относительно точки O .



4. Потенциальная энергия частицы описывается выражением $E_p = -2x + 3x^2$. При каком значении x частица будет находиться в равновесии?

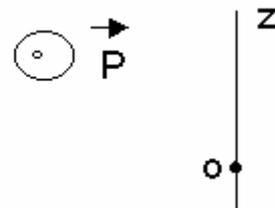
5. Сформулировать закон сохранения импульса. При каких условиях реально выполняется этот закон на

диска. Указать на рисунке направления векторов угловой скорости $\vec{\omega}$, момента импульса \vec{L}_0 , углового ускорения $\vec{\varepsilon}_0$, результирующего момента силы \vec{M}_0 .



2. Сформулировать теорему Штейнера.

3. Что называется моментом импульса? Указать на рисунке направление вектора момента импульса относительно точки O .



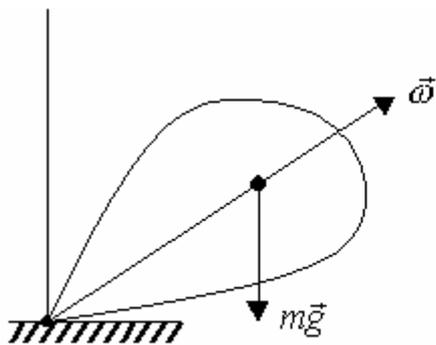
4. Потенциальная энергия частицы описывается выражением $E_p = 3x^4 - 12x$. При каком значении x ускорение частицы будет равно нулю?

5. Сформулировать закон сохранения механической энергии. При каких условиях реально выполняется этот закон на Земле?

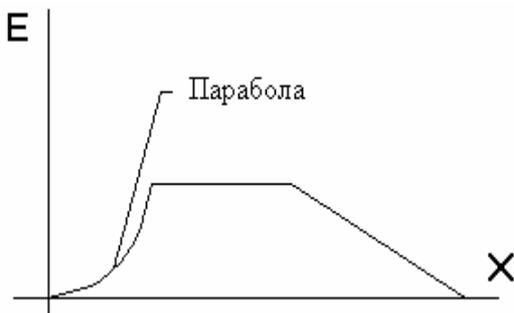
Земле?

6. Написать уравнение движения для тела массой m в поле силы тяжести Земли (силой сопротивления пренебречь).

7. Укажите направление угловой скорости прецессии гироскопа $\vec{\omega}'$, если известно направление угловой скорости гироскопа $\vec{\omega}$.

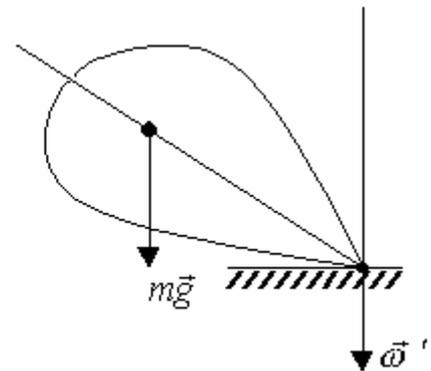


8. Зависимость потенциальной энергии от координаты приведена на рисунке. Нарисуйте график качественной зависимости силы поля от координаты.

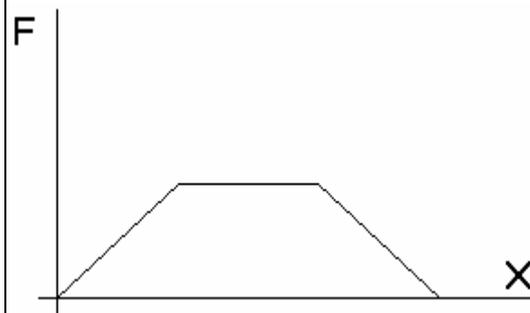


6. Написать уравнение движения для тела массой m , на которое действует только сила сопротивления, пропорциональная скорости.

7. Укажите направление угловой скорости гироскопа $\vec{\omega}$, если известно направление угловой скорости прецессии гироскопа $\vec{\omega}'$.



8. Зависимость силы потенциального поля от координаты приведена на рисунке. Нарисуйте график качественной зависимости потенциальной энергии от координаты.



9. Какие положения следующего утверждения справедливы? Момент импульса тела относительно оси зависит:

- а) от массы тела;
- б) от момента силы;
- в) от положения оси;
- г) от угловой скорости тела.

10. Человек стоит на вращающейся скамье Жуковского со стержнем в руках, расположенным горизонтально. Если стержень повернуть в вертикальное положение, то:

- а) уменьшится момент инерции системы относительно оси вращения;
- б) уменьшится угловая скорость;
- в) момент импульса системы относительно оси вращения не изменится;

г) уменьшится кинетическая энергия системы.

Выбрать правильные утверждения.

9. Какие пункты следующего утверждения справедливы?

Момент инерции тела относительно оси вращения зависит:

- а) от положения оси вращения;
- б) от момента силы;
- в) от массы тела;
- г) от углового ускорения тела.

10. В каких системах отсчета действуют центробежная сила и сила Кориолиса? Как они направлены?

Коллоквиум № 2

Молекулярно-кинетическая теория идеального газа и элементы классической статики

Вариант 1

Вариант 2

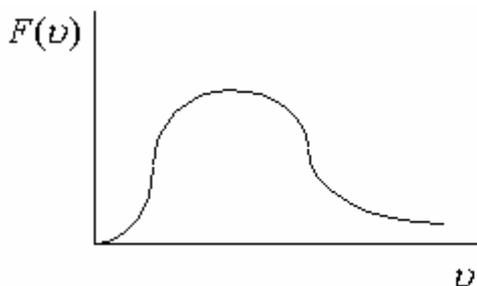
1. Записать и сформулировать основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.

2. Каков смысл функции распределения?

3. Написать формулу статистического усреднения.

4. Написать выражение для функции распределения Максвелла $F(v)$. В чем ее смысл?

5. Дан график функции распределения Максвелла $F(v)$ для температуры газа T_1 . Нарисовать график $F(v)$ для температуры того же газа $T_2 < T_1$.



6. Записать и раскрыть смысл распределения Больцмана.

7. Нарисовать графики зависимости давления от высоты $P(h)$ для T_1 и T_2 , ($T_2 < T_1$) согласно барометрической формуле.

8. Тело переходит из состояния 1 в состояние 3 один

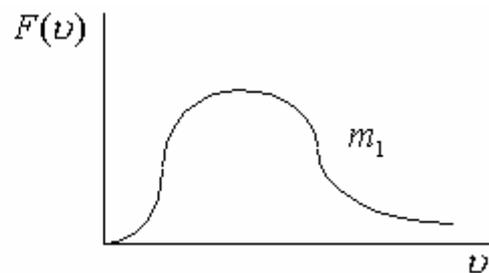
1. Что называется числом степеней свободы механической системы?

2. Каков смысл условия нормировки функции распределения?

3. Выразить вероятность через функцию распределения.

4. Каков смысл наиболее вероятной скорости? Написать формулу u_v .

5. Дан график функции распределения Максвелла $F(v)$ для газа с массой молекулы газа m_1 . Нарисовать график $F(v)$ для газа с массой молекулы газа $m_2 < m_1$.

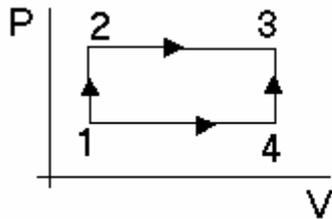


6. Записать и раскрыть смысл барометрической формулы.

7. Нарисовать два графика зависимости концентрации молекул от потенциальной энергии в поле сил тяжести для двух температур T_1 и T_2 , ($T_1 < T_2$) согласно распределению Больцмана.

8. Тело переходит из состояния 1 в состояние 3 один раз

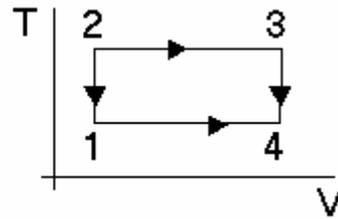
раз посредством процесса 1-2-3, а другой раз 1-4-3. В каком процессе изменение внутренней энергии больше? Газ идеальный.



9. Чему равно число степеней свободы для молекулы CO_2 с учетом колебательного движения молекул?

10. В двух сосудах при комнатной температуре хранится по 1 молю газа. В первом сосуде газ состоит из одноатомных молекул, а во втором из двухатомных. Каково отношение внутренних энергий этих газов U_1/U_2 ?

посредством процесса 1-2-3, а другой раз 1-4-3. В каком процессе изменение внутренней энергии больше? Газ идеальный.



9. При каких давлениях и температурах газ можно считать идеальным?

10. В двух сосудах при комнатной температуре хранится по 1 молю газа. В первом сосуде газ состоит из одноатомных молекул, а во втором - из трехатомных. Каково отношение молярных теплоемкостей этих газов при постоянном объеме?

Коллоквиум № 3.

Электростатика и постоянный ток

Вариант 1

1. Сформулировать теорему Гаусса для электростатического поля в вакууме.

2. Написать граничные условия для нормальных составляющих E_n и D_n векторов

Вариант 2

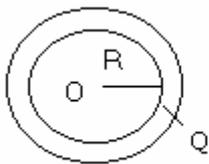
1. Сформулировать теорему Гаусса для электрического поля в диэлектрике.

2. Написать граничные условия для тангенциальных составляющих E_τ и D_τ векторов

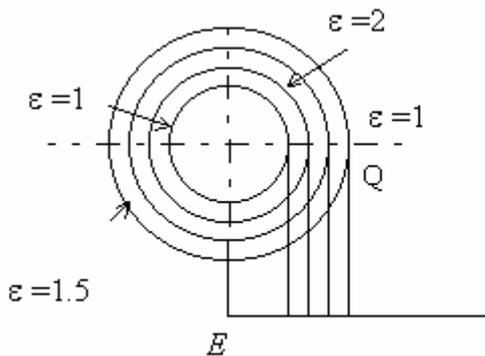
напряженности и электрического смещения на границе раздела двух диэлектриков.

3. В чём смысл электростатической защиты?

4. Чему равен потенциал в центре заряженного кольца? Объяснить.



5. Полая заряженная сфера окружена сферическими слоями диэлектриков.



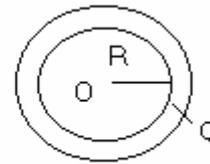
Построить зависимость модуля напряженности от радиуса: $E(r)$.

6. Раскрыть физический смысл диэлектрической проницаемости среды.

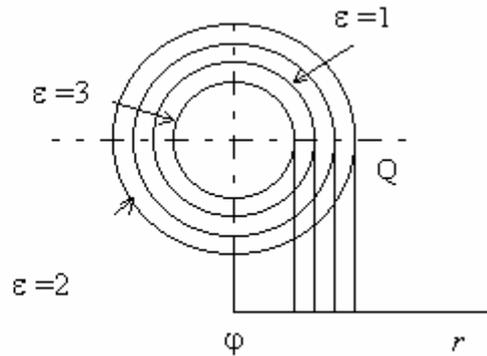
напряжённости и электрического смещения на границе раздела двух диэлектриков.

3. Написать выражения для плотности энергии электрического поля.

4. Чему равна напряженность в центре заряженного кольца?



5. Полая заряженная сфера окружена сферическими слоями диэлектриков.



Построить зависимость потенциала от радиуса: $\phi(r)$.

6. Раскрыть физический смысл вектора поляризованности \vec{P} .

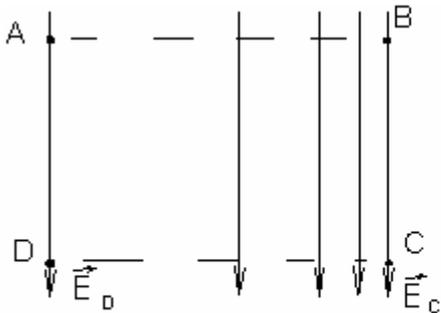
7. Раскрыть понятие электродвижущей силы источника тока

8. Сформулировать 1-й закон Кирхгофа.

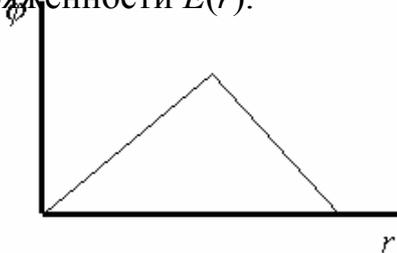
9. Записать закон Ома в дифференциальной форме.

10. Раскрыть суть классической электронной теории электропроводимости металлов.

11. Определить циркуляцию вектора \vec{E} по замкнутому контуру $ABCD$. Является ли это поле потенциальным?



12. По известной зависимости потенциала $\varphi(r)$ построить зависимость напряженности $E(r)$.



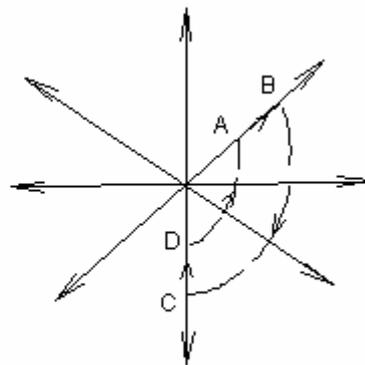
7. Раскрыть понятие падения напряжения на однородном участке цепи.

8. Сформулировать 2-й закон Кирхгофа.

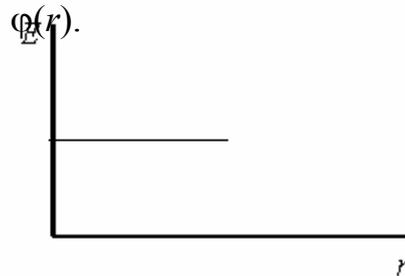
9. Записать закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме.

10. В чём состоит недостаточность классической электронной теории электропроводимости металлов?

11. Определить циркуляцию вектора \vec{E} по замкнутому контуру $ABCD$. Является ли это поле потенциальным?



12. По известной зависимости напряженности $E(r)$ построить зависимость потенциала $\varphi(r)$.



Коллоквиум № 4

Магнитное поле и электромагнитная индукция

Вариант 1

1. Раскрыть понятие

Вариант 2

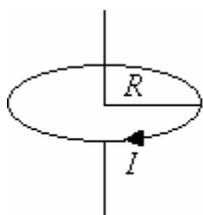
1. Сформулировать Закон Био–

магнитной индукции.

2. Сформулировать закон полного тока для вектора магнитной индукции \vec{B} .

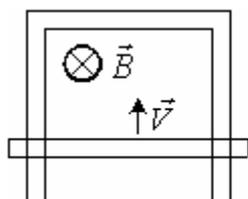
3. Написать граничные условия для тангенциальных составляющих векторов \vec{B} и \vec{H} на границе раздела двух сред.

4. Чему равен магнитный момент витка с током \vec{P}_m ? Куда он направлен?



5. Сформулировать основной закон электромагнитной индукции. И правило Ленца.

6. Проводящая перемычка движется вдоль проводящей рамки со скоростью \vec{V} в магнитном поле \vec{B} . Указать направление индукционного тока.



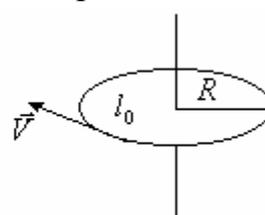
7. Дан график изменения магнитного потока от времени.

Савара.

2. Сформулировать закон полного тока для вектора напряжённости магнитного поля \vec{H} .

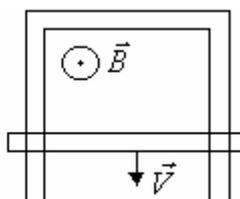
3. Написать граничные условия для нормальных составляющих векторов \vec{B} и \vec{H} на границе раздела двух сред.

4. Чему равен орбитальный магнитный момент электрона \vec{P}_m ? Указать его направление.

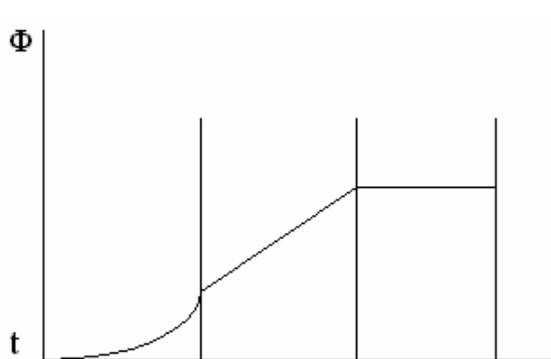


5. Описать явления самоиндукции и взаимной индукции.

6. Проводящая перемычка движется вдоль проводящей рамки со скоростью \vec{V} в магнитном поле \vec{B} . Указать направление индукционного тока.

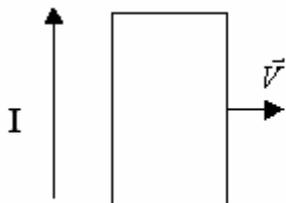


7. Дан график изменения магнитного потока от времени.



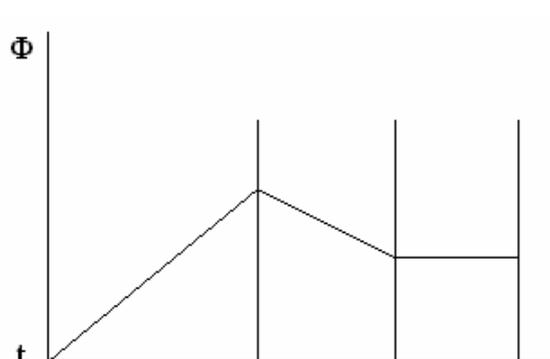
Как изменяется величина ЭДС электромагнитной индукции со временем? Построить график $\varepsilon i(t)$.

8. Прямоугольный проволочный виток лежит в плоскости с длинным прямым проводом, по которому



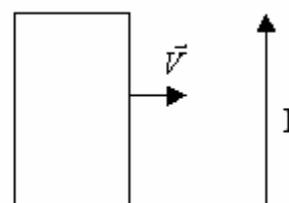
протекает ток I . Виток тянут вправо. Каковы направления тока, индуцированного в витке, и сил, действующих на его левую и правую стороны?

9. Чему равна циркуляция вектора напряженности \vec{H} по замкнутому контуру? I – токи проводимости, i – молекулярные токи.



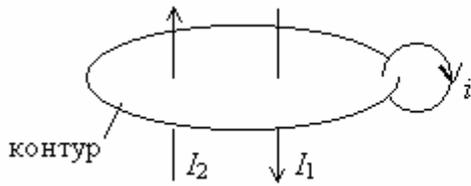
Построить график зависимости ЭДС электромагнитной индукции от времени $\varepsilon i(t)$.

8. Прямоугольный проволочный виток лежит в плоскости с длинным прямым проводом, по которому про-

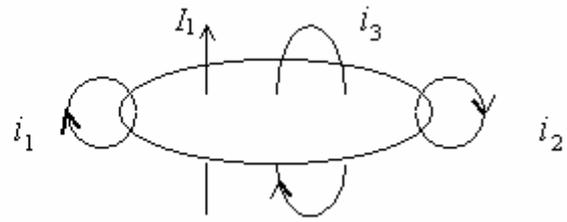


текает ток I . Виток тянут вправо. Каковы направления тока, индуцированного в витке, и сил, действующих на его левую и правую стороны.

9. Чему равна циркуляция вектора магнитной индукции по замкнутому контуру? I – токи проводимости, i – молекулярные токи.



10. Какова природа ферромагнетизма.



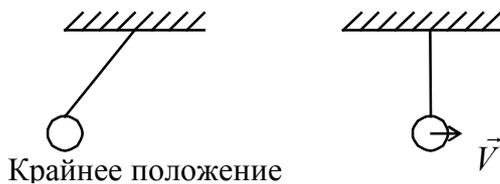
10. Какова природа диамагнетизма.

Коллоквиум № 5

Механические колебания и волны

Вариант 1

1. Что называется фазой?
2. Какова разность фаз колебаний двух математических маятников?



3. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях. Какая фигура Лиссажу $y(x)$ получается, если

$$\begin{cases} y = 2\cos\pi t, \\ x = 4\cos\pi t + \pi. \end{cases}$$

4. Сложите графически два

Вариант 2

1. Что называется длиной волны, волновым числом?
2. Какова разность фаз колебаний двух математических маятников?



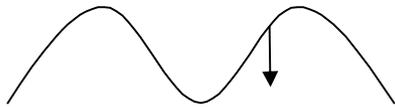
3. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях. Какая фигура Лиссажу $y(x)$ получается, если

$$\begin{cases} y = 2\cos\pi t, \\ x = 4\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right). \end{cases}$$

4. Сложите графически два

гармонических одинаково направленных колебания равных периодов, но смещенных по фазе относительно друг друга на π , амплитуды относятся между собой как 3:1. Будет ли колебание гармоническим? Чему равна частота результирующего колебания?

5. Дано направление смещения частиц. Куда движется волна?



6. Написать дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Каков смысл коэффициента затухания, добротности?

7. Дано уравнение волны $y=A\sin 2\pi(t/T-x/\lambda)$, где A , T , λ – положительные величины, которые описывают волну. Чему равна скорость волны?

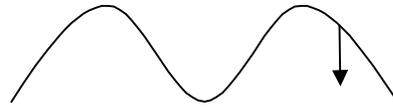
8. Что такое фазовая скорость, групповая скорость волн? Чему они равны?

9. Что называется интерференцией волн?

10. Период колебаний пружинного маятника равен T . Массу маятника увеличили в 4 раза. Как изменится период колебаний?

гармонических одинаково направленных колебания, у которых частоты относятся между собой как 1:3, а амплитуды как 2:1. Будет ли колебание гармоническим? Чему равна частота результирующего колебания?

5. Дано направление смещения частиц. Куда движется волна?



6. Написать волновое уравнение.

7. Смещение частиц среды в плоской бегущей звуковой волне выражается соотношением $\xi=\xi_m \cdot \cos(\omega t-kx)$. Найти скорость смещения частиц в этой волне.

8. Как образуется стоячая волна? Описать её характерные особенности. Написать уравнение стоячей волны.

9. Как образуются биения?

10. Что называется механическим резонансом, резонансной частотой?

ЗАДАЧИ

МЕХАНИКА

Кинематика

Примеры решения задач

Радиус-вектор частицы изменяется со временем по закону $\vec{r} = at\vec{e}_x - bt^2\vec{e}_y$, где a и b – положительные постоянные. Найти:

- скорость \vec{V} и ускорение \vec{W} , а также их модули;
- зависимость от времени угла α между векторами \vec{V} и \vec{W} ;
- уравнение траектории частицы $y(x)$.

Дано:

$$\vec{r} = at\vec{e}_x - bt^2\vec{e}_y$$

$$a > 0, b > 0$$

а) \vec{V}, \vec{W}, V, W – ?

б) $\alpha(t)$ – ?

в) $y(x)$ – ?

Решение:

а) Как известно, для определения скорости частицы необходимо взять первую производную по времени от ее радиус-вектора. Поэтому

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = a\vec{e}_x - 2bt\vec{e}_y. \quad (1)$$

Для определения ускорения частицы необходимо взять вторую производную по времени от ее радиус-вектора. Поэтому

$$\vec{W} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -2b\vec{e}_y. \quad (2)$$

Из выражения (1) модуль скорости определяется по известным компонентам вектора скорости: $V_x = a$; $V_y = -2bt$, $V_z = 0$.

$$\text{Отсюда } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{a^2 + 4b^2t^2}.$$

Из выражения (2) модуль ускорения определяется по известным компонентам вектора ускорения: $W_x = 0$, $W_y = -2b$, $W_z = 0$.

$$\text{Отсюда } W = |W_y| = 2b.$$

б) Для определения зависимости от времени угла $\alpha(t)$ между векторами \vec{V} и \vec{W} выразим скалярное произведение этих векторов двояким образом:

$$(\vec{V} \cdot \vec{W}) = V \cdot W \cdot \cos\alpha(t) = (\sqrt{a^2 + 4b^2t^2}) \cdot 2b \cdot \cos\alpha(t). \quad (3)$$

$$(\vec{V} \cdot \vec{W}) = V_x \cdot W_x + V_y \cdot W_y + V_z \cdot W_z = (-2bt) \cdot (-2b) = 4b^2t. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) для зависимости $\alpha(t)$ получим

$$\alpha(t) = \arccos \frac{2bt}{\sqrt{a^2 + 4b^2t^2}}$$

в) Из выражения для радиус-вектора следует: $x(t) = at$ (1),

$$y(t) = -bt^2 \quad (2), \quad z = 0 \quad (3).$$

Отсюда, исключая время t из выражений (1) и (2), получим уравнение траектории частицы: $y = -\frac{b}{a^2}x^2$ в плоскости $z = 0$.

$$\text{Ответ: } \vec{V} = a\vec{e}_x - 2bt\vec{e}_y, \vec{W} = -2b\vec{e}_y, V = \sqrt{a^2 + 4b^2t^2}, W = 2b,$$

$$\alpha(t) = \arccos \frac{2bt}{\sqrt{a^2 + 4b^2t^2}}, y = -\frac{b}{a^2}x^2.$$

2. Частица движется по окружности радиусом $R = 2$ м, и путь изменяется со временем по закону $S = At^3$, где $A = 2$ м/с³. Найти: а) момент времени t_0 , при котором нормальное ускорение W_n будет равно тангенциальному W_τ ; б) полное ускорение в этот момент времени.

Дано:

$$R = 2 \text{ м}$$

$$S = At^3$$

$$A = 2 \text{ м/с}^3$$

$$W_n = W_\tau$$

Решение:

а) Выражения для нормального ускорения, тангенциального ускорения и полного ускорения имеют вид:

$$W_n = \frac{V^2}{R} = \left(\frac{dS}{dt}\right)^2 \cdot \frac{1}{R}, W_\tau = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}, W = \sqrt{W_n^2 + W_\tau^2}.$$

а) $t_0 - ?$

б) $W - ?$

Из условия задачи получим уравнение относительно t_0 :

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^2 \cdot \frac{1}{R} = \frac{d^2S}{dt^2} \quad \text{или} \quad (3At_0^2)^2 \cdot \frac{1}{R} = 6At_0. \quad \text{Отсюда для } t_0$$

$$\text{имеем: } t_0 = \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{R}{A}\right)^{1/3} = 0,873 \text{ с.}$$

б) Для полного ускорения из условия задачи получим:

$$W = \sqrt{2W_\tau^2} = \sqrt{2\left(\frac{d^2S}{dt^2}\right)^2} = \sqrt{2} \cdot 6At_0 = 14,8 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $t_0 = 0,873$ с, $W = 14,8$ м/с².

3. Тело брошено с вышки в горизонтальном направлении со скоростью $V_0 = 30$ м/с. Найти значения следующих величин через две секунды

$\tau = 2\text{с}$: а) скорости V , тангенциального ускорения W_τ , нормального ускорения W_n ; б) радиуса кривизны траектории R .

Дано:

$$V_0 = 30\text{м/с}$$

$$\tau = 2\text{с}$$

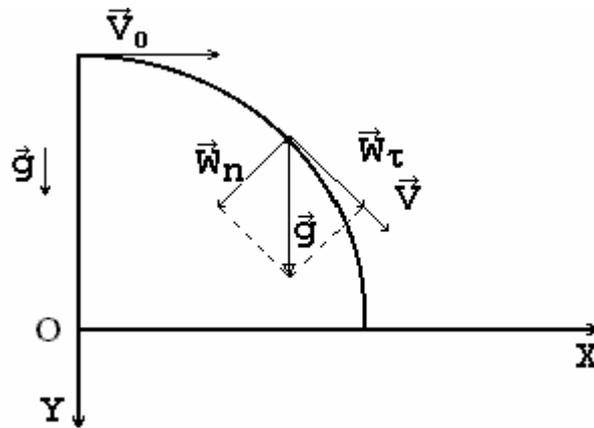
Решение:

Траектория движения тела показана на рисунке.

Направление векторов \vec{V} , \vec{W}_n , \vec{W}_τ , \vec{g} через время τ также показано на рисунке.

а) V , W_τ , W_n –?

б) R –?



Введем систему координат XOY как показано на рисунке, чтобы учесть независимость движений тела по горизонтали и вертикали. Проекция вектора скорости на ось OX V_x остается всегда постоянной и равной V_0 . Проекция вектора скорости на ось OY V_y растет со временем по закону $V_y = gt$, так как вдоль оси OY тело движется равноускоренно с ускорением свободного падения g . Поэтому для модуля скорости тела получим:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_0^2 + g^2 t^2}. \quad (1)$$

Через две секунды значение модуля скорости будет равно:

$$V = \sqrt{V_0^2 + g^2 \tau^2} = \sqrt{900 + 385} = 35,8 \text{ м/с}. \quad (2)$$

Для вычисления тангенциальной составляющей ускорения W_τ воспользуемся формулой, полученной с учетом (1):

$$W_\tau = \frac{dV}{dt} = \frac{g^2 t}{\sqrt{V_0^2 + g^2 t^2}}. \text{ Следовательно, через две секунды значение } W_\tau$$

$$\text{будет } W_\tau = \frac{g^2 \tau}{\sqrt{V_0^2 + g^2 \tau^2}} = \frac{(9,81)^2 \cdot 2}{35,8} = 5,38 \text{ м/с}^2.$$

Из рисунка к задаче видно, что нормальную составляющую ускорения W_n можно вычислить по теореме Пифагора, так как полное ускорение равно \vec{g} .

Следовательно, имеем: $W_n = \sqrt{g^2 - W_\tau^2} = \sqrt{(9,81)^2 - (5,38)^2} = 8,2 \text{ м/с}^2$.

Радиус кривизны траектории в рассматриваемой точке движения найдем из формулы $W_n = \frac{V^2}{R}$. Отсюда $R = \frac{V^2}{W_n} = \frac{(35,8)^2}{8,2} = 156 \text{ м}$.

Ответ: $V = 35,8 \text{ м/с}$; $W_\tau = 5,38 \text{ м/с}^2$; $W_n = 8,2 \text{ м/с}^2$; $R = 156 \text{ м}$

ЗАДАЧИ

1.1. Компоненты скорости частицы изменяются со временем по законам: $V_x = a \cos \omega t$, $V_y = a \sin \omega t$, $V_z = 0$, где a и ω – константы. Найти модули скорости $|\vec{V}|$ и ускорения $|\vec{W}|$, а также угол α между векторами \vec{V} и \vec{W} . По какой траектории движется частица?

$$(|\vec{V}| = a, |\vec{W}| = a\omega, \alpha = \pi/2).$$

1.2. Зависимость координат движения частицы от времени имеет вид $x = a \cos \omega t$, $y = a \sin \omega t$, $z = 0$, где a и ω – константы.

а) определить радиус-вектор \vec{r} , скорость \vec{V} и ускорение \vec{W} частицы, а также их модули;

б) найти уравнение траектории частицы.

$$\begin{aligned}(\vec{r} &= a(\cos \omega t \vec{e}_x + \sin \omega t \vec{e}_y); |\vec{r}| = a; \\ \vec{V} &= a\omega (-\sin \omega t \vec{e}_x + \cos \omega t \vec{e}_y); |\vec{V}| = a\omega; \\ \vec{W} &= -a\omega^2 (\cos \omega t \vec{e}_x + \sin \omega t \vec{e}_y). |\vec{W}| = a\omega^2; \\ & x^2/a^2 + y^2/a^2 = 1).\end{aligned}$$

1.3. Точка движется по окружности радиусом $R = 4 \text{ м}$. Закон ее движения выражается уравнением $S = A + Bt^2$, где $A = 8 \text{ м}$, $B = -2 \text{ м/с}^2$. Определить момент времени t , когда нормальное ускорение W_n точки равно 9 м/с^2 . Найти модули скорости V , тангенциального W_τ и полного W ускорений точки в тот же момент времени t .

$$(t = 1,5 \text{ с}, V = 6 \text{ м/с}, W_\tau = 4 \text{ м/с}^2, W = 9,8 \text{ м/с}^2).$$

1.4. Частица движется со скоростью $\vec{V} = at(2\vec{e}_x + 3\vec{e}_y + 4\vec{e}_z)$ ($a = 1 \text{ м/с}^2$). Найти:

а) модуль скорости частицы в момент времени $t = 1 \text{ с}$;

- б) ускорение частицы \vec{W} и его модуль;
 в) путь S , пройденный частицей с момента времени $t_1=2$ с до $t_2=3$ с;
 г) какой характер имеет движение частицы? Почему?

$$(V=5,4 \text{ м/с}, \vec{W} = a(2\vec{e}_x + 3\vec{e}_y + 4\vec{e}_z), |\vec{W}| = 5,4 \text{ м/с}^2, S=13,5 \text{ м}).$$

1.5. Точка движется вдоль оси X , причем координата изменяется по закону $x = a \cos [(2\pi / T) \cdot t]$. Найти:

- а) выражение для проекции на ось X скорости \vec{V} и ускорения \vec{W} точки;
 б) путь S , пройденный точкой за промежуток времени от $t_1=T/8$ до $t_2=T/4$.

$$(V_x = -(2\pi / T) a \sin(2\pi / T) t, W_x = -(2\pi / T)^2 a \cos(2\pi / T) t, S=0,707 a).$$

1.6. Радиус-вектор частицы изменяется со временем по закону $\vec{r} = 3t^2\vec{e}_x + 2t\vec{e}_y + 1\vec{e}_z$. Найти:

- а) скорость \vec{V} и ускорение частицы \vec{W} ;
 б) модуль скорости в момент времени $t=1$ с;
 в) приближенное значение пути S , пройденное частицей за 11-ю секунду движения.

$$(а) \vec{V} = 6t\vec{e}_x + 2\vec{e}_y \text{ (м/с)}, \text{ б) } \vec{W} = 6\vec{e}_x \text{ (м/с}^2\text{)}, \text{ в) } |\vec{V}| = 6,3 \text{ м/с}, S=63 \text{ м}).$$

1.7. Тело брошено под углом α к горизонту и в начальный момент времени имеет скорость \vec{V}_0 . Построить качественные зависимости V_x и V_y как функции от времени движения тела до момента падения. Определить радиус кривизны траектории в момент времени $t=\tau/4$, где τ – время движения до падения. Сопротивления движению нет.

$$(R = \frac{V_0^2 \cos^2 \alpha + (V_0 \sin \alpha - g\tau/4)^2}{g \cos(\arctg(\frac{V_0 \sin \alpha - g\tau/4}{V_0 \cos \alpha}))}).$$

1.8. Тело в течение времени τ движется с постоянной скоростью v_0 . Затем скорость его линейно нарастает со временем так, что в момент времени 2τ она равна $2v_0$. Определить путь, пройденный телом за время t . Считать, что $\tau < t < 2\tau$.

$$(S = \frac{V_0 \tau}{2} + \frac{V_0 t^2}{2\tau}).$$

1.9. Точка движется по криволинейной траектории с постоянным тангенциальным ускорением $w_\tau = 0,5 \text{ м/с}^2$. Определить полное ускорение точки в момент времени $t=5 \text{ с}$ от начала движения, если радиус кривизны траектории в этот момент времени $R=2 \text{ м}$.

$$(w=3,2 \text{ м/с}^2).$$

1.10. Начальное значение скорости равно $\vec{V}_1 = 1\vec{e}_x + 3\vec{e}_y + 5\vec{e}_z$, (м/с), конечное $\vec{V}_2 = 2\vec{e}_x + 4\vec{e}_y + 6\vec{e}_z$, (м/с). Найти:

а) приращение скорости $\Delta\vec{V}$;

б) модуль приращения скорости $|\Delta\vec{V}|$;

в) приращение модуля скорости $\Delta|\vec{V}|$.

$$(а) \Delta\vec{V} = 1\vec{e}_x + 1\vec{e}_y + 1\vec{e}_z, \text{ б) } |\Delta\vec{V}| = 1,73 \text{ м/с}, \text{ в) } \Delta|\vec{V}| = 1,57 \text{ м/с}.$$

1.11. По дуге окружности радиусом $R=10 \text{ м}$ движется точка. В некоторый момент времени от начала движения ускорение точки $w_n = 5,0 \text{ м/с}^2$; вектор полного ускорения \vec{w} образует в этот момент с вектором тангенциально ускорения \vec{w}_τ угол $\alpha = 30^\circ$. Считая $w_\tau = \text{const}$, найти закон изменения $w_n = f(t)$.

$$(w_n = 7,5 t^2).$$

1.12. Точка движется по дуге окружности радиусом R . Ее скорость зависит от пройденного пути S по закону $V = k\sqrt{S}$, где k – постоянная. Найти угол между вектором полного ускорения и вектором скорости в зависимости от S .

$$\left(\alpha = \text{arctg} \left(\frac{2S}{R}\right)\right).$$

1.13. Тело брошено под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $V = 30 \text{ м/с}$. Определить радиус кривизны траектории R в максимальной точке подъема тела и в точке его касания с землей. Качественно постройте зависимости кинетической W_k , потенциальной W_p , и полной W энергии тела как функции времени. Сопротивления движению не учитывать.

$$(R_1 = 45,9 \text{ м}, R_2 = 130 \text{ м}).$$

1.14. Материальная точка движется по окружности радиусом R . Ее тангенциальное ускорение изменяется по закону $w_\tau = kt$, где $k > 0$. В какой момент времени t с начала движения модули нормального и тангенциального ускорения будут равны? Чему равно полное ускорение материальной точки в этот момент времени? Какой угловой путь φ пройдет точка к этому моменту времени? Качественно изобразите закон изменения угловой скорости ω как функцию времени.

$$\left(t = \sqrt[3]{\frac{4R}{k}}; w = k\sqrt{2}\sqrt[3]{\frac{4R}{k}}; \varphi = 0,67 \text{ рад} \right).$$

1.15. Точка движется по окружности радиусом $R = 30 \text{ см}$ с постоянным угловым ускорением. Определить тангенциальное ускорение точки, если известно, что с некоторого момента за интервал времени $t = 4 \text{ с}$ она совершила три оборота и в конце третьего оборота ее нормальное ускорение $w_n = 2,7 \text{ м/с}^2$. Определить угловую ω_0 и линейную v_0 скорости в начале указанного интервала времени. Построить графики зависимости модулей ускорения и угловой скорости от времени на интервале движения: $w_n = f(t)$; $\omega = f(t)$.

$$(\omega_0 = 6,44 \text{ рад/с}; v_0 = 1,93 \text{ м/с}).$$

Динамика

Примеры решения задач

4. Система состоит из частицы 1 массой $1,0 \text{ г}$, расположенной в точке с координатами $(1, 1, 1) \text{ м}$, частицы 2 массой $2,0 \text{ г}$, расположенной в точке с координатами $(-2, 2, 2) \text{ м}$, частицы 3 массой $3,0 \text{ г}$, расположенной в точке с координатами $(-1, 3, -2) \text{ м}$, частицы 4 массой $4,0 \text{ г}$, расположенной в точке с координатами $(3, -3, 3) \text{ м}$. Найти радиус-вектор \vec{r}_c центра масс системы и его модуль.

Дано:

$$m_1=1,0\text{г}$$

$$m_2=2,0\text{г}$$

$$m_3=3,0\text{г}$$

$$m_4=4,0\text{г}$$

$$\vec{r}_1 = 1 \cdot \vec{e}_x + 1 \cdot \vec{e}_y + 1 \cdot \vec{e}_z, \text{М}$$

$$\vec{r}_2 = -2 \cdot \vec{e}_x + 2 \cdot \vec{e}_y + 2 \cdot \vec{e}_z, \text{М}$$

$$\vec{r}_3 = -1 \cdot \vec{e}_x + 3 \cdot \vec{e}_y - 2 \cdot \vec{e}_z, \text{М}$$

$$\vec{r}_4 = 3 \cdot \vec{e}_x - 3 \cdot \vec{e}_y + 3 \cdot \vec{e}_z, \text{М}$$

Решение:

Положение центра масс системы определяется

выражением: $\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$, где m_i – масса i -й

частицы системы, \vec{r}_i – радиус-вектор i -й частицы системы.

Отсюда для радиус-вектора центра масс рассматриваемой системы получим:

а) \vec{r}_c – ?

б) $|\vec{r}_c|$ – ?

$$\begin{aligned} \vec{r}_c &= \frac{m_1 \vec{r}_1 + \dots + m_4 \vec{r}_4}{m_1 + \dots + m_4} = \frac{1,0 \cdot (1 \cdot \vec{e}_x + 1 \cdot \vec{e}_y + 1 \cdot \vec{e}_z) + 2,0 \cdot (-2 \cdot \vec{e}_x + 2 \cdot \vec{e}_y + 2 \cdot \vec{e}_z)}{1,0 + 2,0 + 3,0 + 4,0} + \\ &+ \frac{3,0 \cdot (-1 \cdot \vec{e}_x + 3 \cdot \vec{e}_y - 2 \cdot \vec{e}_z) + 4,0 \cdot (3 \cdot \vec{e}_x - 3 \cdot \vec{e}_y + 3 \cdot \vec{e}_z)}{1,0 + 2,0 + 3,0 + 4,0} = \frac{6 \cdot \vec{e}_x + 2 \cdot \vec{e}_y + 11 \cdot \vec{e}_z}{10} = \\ &= 0,6 \cdot \vec{e}_x + 0,2 \cdot \vec{e}_y + 1,1 \cdot \vec{e}_z, \text{ м.} \end{aligned}$$

Для модуля радиус-вектора центра масс системы следует:

$$|\vec{r}_c| = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2} = \sqrt{0,36 + 0,04 + 1,21} = 1,27, \text{ м}$$

Ответ: $\vec{r}_c = 0,6 \cdot \vec{e}_x + 0,2 \cdot \vec{e}_y + 1,1 \cdot \vec{e}_z, \text{М}$; $|\vec{r}_c| = 1,27, \text{м}$.

5. На горизонтальной плоскости лежит доска массой $m_1 = 1$ кг, а на доске – брусок массой $m_2 = 2$ кг. Коэффициент трения между бруском и доской $\mu_1 = 0,25$, между доской и горизонтальной плоскостью $\mu_2 = 0,5$. С каким минимальным ускорением должна двигаться доска, чтобы брусок начал с нее соскальзывать? Какую горизонтальную силу F_0 следует при этом приложить к доске?

Дано:

$$m_1 = 1\text{кг}$$

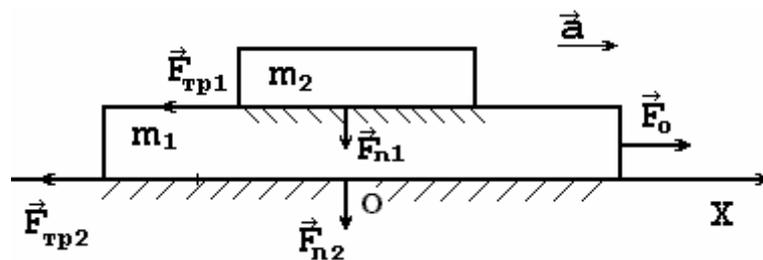
$$m_2 = 2\text{кг}$$

$$\mu_1 = 0,25$$

$$\mu_2 = 0,5$$

а) a_m – ? б) F_0 – ?

Решение:



Движение доски и бруска одномерное и происходит вдоль оси ОХ, как показано на рисунке. Поэтому для решения задачи достаточно воспользоваться проекцией уравнения 2-го закона Ньютона на ось ОХ (как для бруска, так и для доски). Брусок в горизонтальном направлении вынуждает двигаться с ускорением без проскальзывания сила трения покоя со стороны поверхности доски. По мере роста ускорения доски растет и величина силы трения покоя. Когда она достигает предельной величины, равной, силе трения скольжения $F_{\text{тр1}}$, то брусок начинает соскальзывать с доски. В этом случае из 2-го закона Ньютона получим:

$$m_2 \cdot a_m = F_{\text{тр1}} = \mu_1 \cdot F_{\text{n1}}, \quad (1)$$

где F_{n1} – сила нормального давления бруска на поверхность доски.

Третий закон Ньютона дает:

$$F_{\text{n1}} = m_2 g. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует: $a_m = \mu_1 \cdot g = 0,25 \cdot 9,81 = 2,45 \text{ м/с}^2$.

На доску действуют в горизонтальной плоскости силы \vec{F}_0 , $\vec{F}_{\text{мп1}}$ и $\vec{F}_{\text{мп2}}$ как показано на рисунке. Уравнение движения доски в этом случае имеет вид:

$$m_1 \cdot a_m = F_0 - F_{\text{тр1}} - F_{\text{тр2}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{тр2}} = \mu_2 \cdot F_{\text{n2}}$ – сила трения скольжения между доской и горизонтальной плоскостью, F_{n2} – сила нормального давления доски с бруском на горизонтальную плоскость. Третий закон Ньютона в этом случае дает:

$$F_{\text{n2}} = (m_1 + m_2) \cdot g. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) получим:

$$F_0 = m_1 \cdot \mu_1 \cdot g + m_2 \cdot \mu_1 \cdot g + \mu_2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot (\mu_1 + \mu_2) \cdot g = 22 \text{ Н.}$$

Ответ: $a_m = 2,45 \text{ м/с}^2$; $F_0 = 22 \text{ Н.}$

ЗАДАЧИ

1.16. Система состоит из частицы 1 массой 0,1 г, частицы 2 массой 0,2 г и частицы 3 массой 0,3 г. Частица 1 помещается в точке с координатами (1,2,3), частица 2 - в точке с координатами (2,3,1), частица 3 - в точке с координатами (3,1,2) (значения координат даны в метрах). Найти радиус-вектор \vec{r}_c центра масс системы и его модуль.

$$(\vec{r}_c = 2,3\vec{e}_x + 1,8\vec{e}_y + 1,8\vec{e}_z, M_i |\vec{r}_c| = 3,4 \text{ м}).$$

1.17. Тело брошено сначала под углом α_1 к горизонту со скоростью \vec{V}_1 , а затем под углом α_2 со скоростью \vec{V}_2 ($\alpha_1 > \alpha_2$). В начальный момент движения $V_{1x} = V_{2x}$. Сравнить в указанных случаях радиусы кривизны траектории в высшей точке подъема тела. Построить качественно зависимости проекции импульса p_{1y} и p_{2y} как функцию времени движения тела. Сопротивления движению нет.

1.18. Брусок массой m_1 1 кг покоится на бруске массой m_2 2 кг. На нижний брусок начала действовать горизонтальная сила $F = 3t$. В какой момент времени t верхний брусок начнет проскальзывать? Коэффициент трения между брусками $\mu = 0,1$. Трение между нижним бруском и опорой пренебрежимо мало.

$$(t > \frac{\mu g(m_1 + m_2)}{3} = 0,98 \text{ с}).$$

1.19. На горизонтальной доске лежит брусок массой m . Один конец доски поднимается. Изобразите график зависимости силы трения, действующей на брусок, от угла α наклона доски в интервале значений $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$. Коэффициент трения между доской и бруском $\mu_0 = 0,25$.

1.20. На горизонтальной плоскости лежит доска длиной L и массой m_1 . Тело массой m_2 лежит посередине доски. Коэффициент трения между доской и плоскостью μ_1 , между доской и телом μ_2 . Какую силу в горизонтальном направлении надо приложить к доске, чтобы тело соскользнуло с нее? За какое время t тело соскользнет, если к доске приложена сила F_0 ?

$$(F > g(\mu_1 + \mu_2)(m_1 + m_2), t = \sqrt{\frac{Lm_1}{F_0 - g(m_1 + m_2)(\mu_1 + \mu_2)}}).$$

1.21. Брусок движется вдоль горизонтальной поверхности под действием постоянной по величине силы, направленной под углом α к горизонту. Коэффициент трения между бруском и поверхностью равен 0,25. При каком значении угла α ускорение бруска вдоль поверхности будет максимальным?

$$(\alpha = 14^\circ).$$

Вращательное движение. Моменты инерции, силы, импульса

Примеры решения задач

6. Сила с компонентами (2, -1, 4), Н приложена к точке с координатами (-3, 2, 1), м. Найти:

- а) момент силы \vec{M} относительно начала системы координат;
- б) модуль момента силы M ;
- в) проекцию M_z момента силы \vec{M} на ось z .

Дано:

$$\vec{F} = 2 \cdot \vec{e}_x - 1 \cdot \vec{e}_y + 4 \cdot \vec{e}_z, \text{ Н}$$

$$\vec{r} = -3 \cdot \vec{e}_x + 2 \cdot \vec{e}_y + 1 \cdot \vec{e}_z, \text{ м}$$

Решение:

По определению момент силы относительно начала системы координат – векторное произведение радиус-вектора \vec{r} и силы \vec{F} . Следовательно

а) \vec{M} – ?

б) M – ?

в) M_z – ?

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}] = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ x & y & z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = (yF_z - zF_y)\vec{e}_x + (zF_x - xF_z)\vec{e}_y +$$

$$+ (xF_y - yF_x)\vec{e}_z = 10 \cdot \vec{e}_x + 14\vec{e}_y - 1\vec{e}_z, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1)$$

z – компонента вектора \vec{M} и есть проекция M_z момента силы на ось z .

Следовательно $M_z = -1$, Н·м. Модуль момента силы \vec{M} получится из выражения (1): $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} = \sqrt{100 + 196 + 1} = 17,2$, Н·м.

Ответ: $\vec{M} = 10 \cdot \vec{e}_x + 14\vec{e}_y - 1\vec{e}_z$, Н·м; $M = 17,2$ Н·м; $M_z = -1$ Н·м.

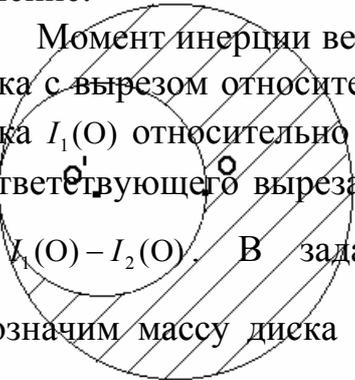
7. Во сколько раз уменьшится момент инерции однородного сплошного диска относительно оси, проходящей через его центр инерции (точка O) и перпендикулярной к плоскости диска, если сделать круглый дисковый вырез как показано на рисунке?

Решение:

Момент инерции величина аддитивная. Поэтому момент инерции I_3 диска с вырезом относительно точки O равен разности момента инерции диска $I_1(O)$ относительно точки O и момента инерции малого диска $I_2(O)$, соответствующего вырезанной части, также относительно точки O , т. е.:

$$I_3 = I_1(O) - I_2(O). \quad \text{В задаче необходимо найти отношение } \frac{I_1(O)}{I_3}.$$

Обозначим массу диска через m , а радиус диска через R . Тогда масса



вырезанной части $\frac{m}{4}$, а радиус $\frac{R}{2}$. Как известно, момент инерции диска

$I_1(O)$ относительно оси симметрии равен: $I_1(O) = \frac{mR^2}{2}$. Для вычисления

момента инерции $I_2(O)$ используем теорему Штейнера:

$I_2(O) = I_2(O') + \frac{m \cdot R^2}{4 \cdot 4}$, где $I_2(O')$ – момент инерции малого диска,

соответствующего вырезанной части, относительно оси симметрии этого диска, проходящей через точку O' . Окончательно:

$$I_2(O) = \frac{mR^2}{4 \cdot 4} \cdot \frac{1}{2} + \frac{mR^2}{4 \cdot 4} = \frac{3}{32} mR^2.$$

Таким образом, искомое отношение $\frac{I_1(O)}{I_3} = \frac{I_1(O)}{I_1(O) - I_2(O)} = \frac{16}{13}$.

Ответ: момент инерции диска после сделанного выреза уменьшается в $\frac{16}{13}$ раз.

8. Тонкий однородный обруч массой $m = 2$ кг и радиусом $R = 1$ м вращается вокруг оси симметрии, перпендикулярной к плоскости обруча, делая $n_0 = 120$ об/мин. Под действием постоянной касательной к поверхности обруча силы $F_T = 4$ Н обруч тормозится и останавливается. Определить время торможения t_T и число оборотов N_T , которое сделает обруч от начала торможения до остановки.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$n_0 = 120 \text{ об/мин}$$

$$F_T = 4 \text{ Н}$$

Решение:

Для вращающегося обруча, на который действует тормозящий момент сил $M_T = F_T \cdot R$, уравнение вращательного движения имеет вид:

$$I \cdot |\varepsilon| = M_T = F_T \cdot R, \quad (1)$$

где I – момент инерции обруча, ε – угловое ускорение.

Момент инерции тонкого однородного обруча равен $I = mR^2$. Угловое ускорение постоянно, так как тормозящий момент сил не изменяется. Следовательно, угловая скорость ω связана с угловым ускорением формулой:

$$\omega = \omega_0 - |\varepsilon| \cdot t, \quad (2)$$

где ω_0 – начальная угловая скорость обруча. Знак минус в выражении (2) учитывает, что угловое ускорение отрицательно, т. е. вращение

а) t_T –?

б) N_T –?

равнозамедленное. Число оборотов N связано с углом поворота обруча φ и угловым ускорением соотношением:

$$N = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{\omega_0 t}{2\pi} - \frac{|\varepsilon| \cdot t^2}{2 \cdot 2\pi}. \quad (3)$$

В конце времени торможения угловая скорость обруча равна нулю и из формул (1) и (2) получим:

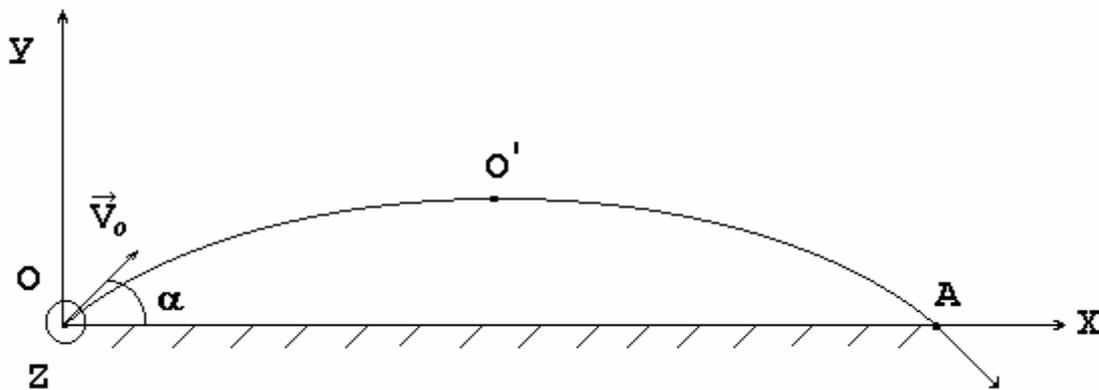
$$t_T = \frac{\omega_0}{|\varepsilon|} = \frac{2\pi n_0}{|\varepsilon|} = \frac{2\pi n_0 m R}{F_T} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 120 \cdot 2 \cdot 1}{60 \cdot 4} = 6,28 \text{ с.}$$

Для числа оборотов N_T за время торможения из выражения (3) следует:

$$N_T = \frac{|\varepsilon| t_T^2}{2 \cdot 2\pi} = \frac{2 \cdot (6,28)^2}{2 \cdot 2 \cdot 3,14} = 12,56 \text{ об.}$$

Ответ: $t_T = 6,28 \text{ с}$; $N_T = 12,56 \text{ об.}$

9. Небольшое тело массой $m = 200\text{г}$ брошено по углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $V_0 = 10 \text{ м/с}$. Выразить зависимость момента импульса тела \vec{L} от времени в системе координат, изображенной на рисунке, относительно точки O . Определить модуль изменения момента импульса $|\Delta\vec{L}|$ для положения тела в точке наивысшего подъема O' и точке падения на землю A .



Дано:
 $m = 200\text{г}$
 $\alpha = 60^\circ$
 $V_0 = 10\text{м/с}$

Решение:

Введем правостороннюю систему координат $OXYZ$, как показано на рисунке. По определению момент импульса тела \vec{L} относительно точки O равен

а) $\vec{L}(t)$ –?
 б) $|\Delta\vec{L}|$ –?

$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}]$, где \vec{r} – радиус-вектор тела, \vec{p} – импульс тела. С использованием единичных ортов $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ выражение момента импульса для тела, брошенного под углом к горизонту, имеет вид:

$$\vec{L}(t) = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ x & y & z \\ mV_x & mV_y & mV_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ x & y & 0 \\ mV_x & mV_y & 0 \end{vmatrix} = m(xV_y - yV_x)\vec{e}_z. \quad (1)$$

Как известно, движение тела брошенного под углом к горизонту – это “сумма” двух независимых движений: равномерного прямолинейного вдоль оси ОХ со скоростью $V_x = V_0 \cos \alpha$ и движения с ускорением g вдоль оси ОУ с начальной скоростью $V_{y0} = V_0 \sin \alpha$. Поэтому выражение (1) принимает вид:

$$\vec{L}(t) = m \left\{ V_0 \cos \alpha \cdot t(V_0 \sin \alpha - gt) - (V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2})V_0 \cos \alpha \right\} \cdot \vec{e}_z = -\frac{1}{2}mV_0 \cos \alpha \cdot gt^2 \vec{e}_z = -0,5 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \cdot t^2 \vec{e}_z = -4,9t^2 \vec{e}_z \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}.$$

Время достижения телом точки А в два раза больше времени t_{II} достижения телом точки наивысшего подъема О'. Поэтому разность моментов импульсов в этих точках равна:

$$\Delta\vec{L} = \vec{L}_A - \vec{L}_{O'} = -4,9 \cdot 4 \cdot t_{II}^2 \cdot \vec{e}_z + 4,9 \cdot t_{II}^2 \cdot \vec{e}_z = -14,7 \cdot t_{II}^2 \cdot \vec{e}_z. \quad (2)$$

Время достижения точки наивысшего подъема О' определяется выражением $t_{II} = \frac{g_0 \sin \alpha}{g} = \frac{10 \cdot 0,866}{9,81} = 0,883 \text{ с}.$

(3)

Окончательно, для модуля изменения момента импульса из (2) и (3) получим: $|\Delta\vec{L}| = 14,7(0,883)^2 = 11,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}.$

Ответ: $\vec{L}(t) = -4,9t^2 \vec{e}_z \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}; |\Delta\vec{L}| = 11,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}.$

ЗАДАЧИ

1.22 Сфера радиусом $R=2,0 \text{ м}$ равномерно вращается вокруг вертикальной оси симметрии, делая 30 об./мин. Внутри сферы находится шарик. Найти высоту h , соответствующую положению равновесия шарика. При какой наименьшей угловой скорости радиус вращения шарика будет $0,9 R$? Шарик считать материальной точкой.

($h=1,0 \text{ м}; \omega=3,4 \text{ рад/с}.$)

1.23. Найти зависимость ускорения силы тяжести Земли над полюсом от высоты положения тела над уровнем моря h . Построить качественно эту зависимость на графике $g=f(h)$.

1.24. Электровоз массой $m=184 \cdot 10^3$ кг движется вдоль меридиана со скоростью $v=20$ м/с (72 км/ч) на широте $\varphi=45^\circ$. Определить горизонтальную составляющую силы F , с которой электровоз давит на рельсы.

(0,38 кН).

1.25. Тело участвует в двух вращательных движениях, происходящих со скоростями $\vec{\omega}_1 = at^2 \vec{e}_x$ и $\vec{\omega}_2 = 2at^2 \vec{e}_y$ ($a=1,0$ рад/с³).

Определить:

а) на какой угол φ повернется тело за первые 3,0 с;

б) какой угол составляет ось вращения, вокруг которой происходит поворот, с осью X .

(а) $\varphi=20$ рад, б) $\alpha=63^\circ$).

1.26. Тело вращается вокруг неподвижной оси так, что угол его поворота меняется в зависимости от времени t по закону $\varphi = 2\pi(at - \frac{bt^2}{2})$, где $a>0$, $b>0$. Найти момент времени τ , в который тело остановится, а также число оборотов N тела до остановки.

($\tau = \frac{a}{b}$; $N = \frac{a^2}{2b}$).

1.27. Материальная точка движется по окружности радиусом R со скоростью $v=kt$, где $k>0$. Найдите зависимость от времени модуля полного ускорения точки; постройте графики зависимости тангенциального и нормального ускорений от времени.

($a = \frac{k}{R} \sqrt{k^2 t^4 + R^2}$).

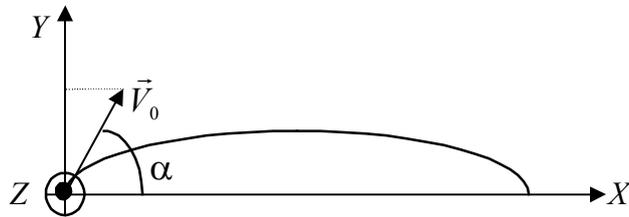
1.28. Определить полное ускорение a в момент времени $t=3$ с точки, находящейся на ободу колеса радиусом $R=0,5$ м, вращающегося согласно уравнению $\varphi=At+Bt^3$, где $A=2$ рад/с, $B=0,2$ рад/с³. Изобразите графики нормального и полного ускорений $a_n=f(t)$ и $a=f(t)$ на интервале $0<t<3$ с.

$$(a=27,4 \text{ м/с}^2).$$

1.29. Точка движется по окружности с постоянным тангенциальным ускорением. Через некоторый промежуток времени t после начала движения угол между полным ускорением и радиусом окружности равен 45° . Чему равно угловое ускорение точки?

$$\left(\varepsilon = \frac{1}{t^2}\right).$$

1.30. Материальная точка (частица) массы m брошена под углом α к горизонту с начальной скоростью \vec{V}_0 . Траектория полета частицы лежит в плоскости X, Y . Ось Z направлена "на нас".



Найти зависимость от времени:

- а) момента силы \vec{M} , действующего на частицу;
- б) момента импульса частицы \vec{L} .

$$(\text{ а) } \vec{M} = -mgV_0(\cos \alpha)t\vec{e}_z ; \text{ б) } \vec{L} = -\frac{1}{2}mgV_0(\cos \alpha)t^2\vec{e}_z).$$

1.31. Две материальные точки массами m_1 и m_2 соединены жестким невесомым стержнем длиной L . Найти положение центра масс системы X_c и момент инерции I этой системы относительно перпендикулярной к стержню оси, проходящей через центр масс.

$$\left(X_c = \frac{m_2 L}{m_1 + m_2} ; I = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} L^2 \right).$$

1.32. Тело массой $m=0,1$ кг брошено с некоторой высоты в горизонтальном направлении со скоростью $V_0=20$ м/с. Найти модуль приращения момента импульса тела $|\Delta \vec{L}|$ относительно точки бросания за первые $\tau=5$ с.

$$(|\Delta \vec{L}| = \frac{1}{2} mgV_0 \tau^2 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ кгм}^2/\text{с}).$$

1.33. Сила с компонентами (3,4,5) (Н) приложена к точке с координатами (4,2,3) (м). Найти:

а) момент силы \vec{M} относительно начала координат;

б) модуль вектора $|\vec{M}|$;

в) проекцию на ось Z момента силы M_z .

$$(\vec{M} = -2\vec{e}_x - 11\vec{e}_y + 10\vec{e}_z \text{ (Н}\cdot\text{м)}, |\vec{M}| = 15 \text{ Н}\cdot\text{м}).$$

1.34. Найти момент инерции однородной прямоугольной пластинки массой m , длины a и ширины b относительно перпендикулярной к ней оси, проходящей через одну из вершин пластинки.

$$(I = \frac{1}{3} m(a^2 + b^2)).$$

1.35. Цилиндр, расположенный горизонтально, может вращаться вокруг оси, совпадающей с осью цилиндра. Масса цилиндра $m_1=12$ кг. На цилиндр намотан шнур, к которому привязали гирию массой $m_2=1$ кг. С каким ускорением будет опускаться гирия? Какова сила натяжения шнура во время движения гири?

$$(w=1,4 \text{ м/с}^2; T=8,4 \text{ Н}).$$

1.36. На обод маховика диаметром $D=60$ см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m=2,0$ кг. Определить момент инерции маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время $t=3,0$ с приобрел угловую скорость $\omega=9,0$ рад/с.

$$(T=1,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2).$$

1.37. Тонкий обруч радиусом R раскрутили вокруг его оси до угловой скорости ω и положили (опустили) на горизонтальный стол. Через какое время t обруч остановится, если коэффициент трения между столом и обручем μ ? Сколько оборотов N сделает обруч до полной остановки?

$$(N = \frac{R\omega^2}{4\pi\mu g}; t = \frac{R\omega}{\mu g}).$$

1.38. С какой угловой скоростью должен вращаться сосуд в виде усеченного конуса, чтобы шарик, лежащий на его дне, выкатился из него? Диаметр верхнего основания d . Стенки сосуда наклонены к горизонту под углом α .

$$\left(\omega = \sqrt{\frac{2g \operatorname{tg} \alpha}{d}}\right).$$

1.39. Из сплошного однородного цилиндра радиусом R сделали полый, удалив внутреннюю часть радиусом $R/2$ от оси симметрии. Во сколько раз изменится момент инерции тела относительно указанной оси?

$$\left(\frac{J_1}{J_2} = 1,07\right).$$

1.40. Из сплошного однородного цилиндра сделали полый, удалив половину его массы. Как изменится момент инерции J цилиндра относительно его оси и во сколько раз? Как и во сколько раз изменится момент импульса указанных цилиндров, если они вращаются с одинаковой угловой скоростью?

$$\left(\frac{J_1}{J_2} = \frac{L_1}{L_2} = 1,33\right).$$

1.41. В сплошном однородном диске радиусом R просверлили сквозное отверстие радиусом $R/2$ от оси симметрии. Во сколько раз изменится момент инерции тела относительно указанной оси?

$$\left(\frac{J_2}{J_1} = 0,98\right).$$

1.42. Два однородных цилиндра с одинаковыми высотами h и равными массами m вращаются относительно своих осей симметрии. Соотношение плотностей материалов цилиндров $\rho_1 = (3/4)\rho_2$. Сравнить вращающие моменты сил, если угловые ускорения цилиндров одинаковы, а моменты сил трения $M_{тр}$ равны.

$$\left(\frac{M_1}{M_2} = 1,33\right).$$

1.43. Грузик массой 5,0 г, привязанный к нити длиной $l=50$ см, вращается вокруг вертикальной оси и описывает окружность в горизонтальной плоскости. Какой угол φ образует нить с вертикалью, если частота вращения $n=1$ с⁻¹. Чему равен модуль проекции момента импульса на ось вращения?

$$(\varphi=60^\circ; L_z = 5,9 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}).$$

Законы сохранения. Работа. Энергия

Примеры решения задач

10. Однородный цилиндр массой $m = 10$ кг и радиусом $r = 5$ см свободно скатывается без проскальзывания с наклонной плоскости высотой $h = 1,0$ м. Определить угловую скорость движения цилиндра и момент импульса цилиндра при переходе цилиндра с наклонной плоскости на горизонтальную плоскость. Начальная скорость цилиндра равна нулю.

Дано:

$$m = 10 \text{ кг}$$

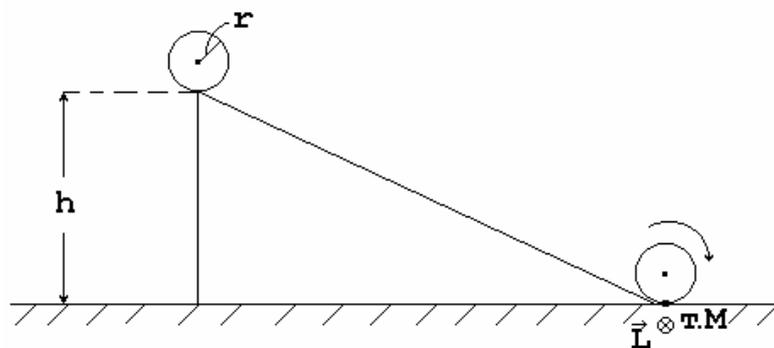
$$r = 5 \text{ см}$$

$$h = 1,0 \text{ м}$$

а) ω –?

б) L –?

Решение:



В начальный момент движения скорость цилиндра равна нулю и его полная механическая энергия равна потенциальной $W_{\text{п}}$. При переходе на горизонтальную плоскость полная механическая энергия цилиндра равна сумме кинетической энергии $W_{\text{к}}$ и потенциальной энергии $W'_{\text{п}}$ цилиндра. По закону сохранения полной механической энергии получается:

$$W_{\text{п}} = W_{\text{к}} + W'_{\text{п}}. \tag{1}$$

Потенциальная энергия цилиндра определяется положением центра масс цилиндра над горизонтальной плоскостью. Поэтому $W_{II} = mg(h + r)$,

$W'_{II} = mgr$, где g – ускорение свободного падения.

Как известно, качение цилиндра по плоской поверхности можно рассматривать как поворот с угловой скоростью ω вокруг мгновенной оси вращения, проходящей по линии соприкосновения цилиндрической поверхности и плоскости. На рисунке мгновенная ось вращения проходит через точку М перпендикулярно плоскости рисунка. Следовательно, кинетическая энергия определяется выражением

$$W_k = \frac{I\omega^2}{2}, \quad (2)$$

где I – момент инерции цилиндра относительно мгновенной оси вращения. Из известного выражения для момента инерции цилиндра относительно оси симметрии и теоремы Штейнера получается:

$$I = \frac{mr^2}{2} + mr^2 = \frac{3}{2}mr^2. \quad (3)$$

Выражение (1) с учетом формул (2) и (3) принимает вид:

$$mg(h + r) = \frac{3}{4}mr^2\omega^2 + mgr. \quad (4)$$

Из уравнения (4) для угловой скорости ω следует:

$$\omega = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{4gh}{3}} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot 1,0}{3}} = 72 \text{ с}^{-1}.$$

Момент импульса \vec{L} при переходе цилиндра на горизонтальную плоскость направлен вдоль мгновенной оси вращения, как показано на рисунке. Модуль момента импульса равен:

$$L = I\omega = \frac{3}{2}mr^2\omega = \frac{3 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 72}{2} = 2,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}.$$

Ответ: $\omega = 72 \text{ с}^{-1}$; $L = 2,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

11. Два шара, один массой $m_1 = 2 \text{ кг}$, второй $m_2 = 3 \text{ кг}$, на горизонтальной плоскости движутся навстречу во взаимноперпендикулярных направлениях и сталкиваются абсолютно неупруго. Найти после соударения скорость шаров V_3 , направление

скорости и часть механической энергии шаров, перешедшей во внутреннюю энергию шаров. До соударения скорость первого шара $V_1 = 5$ м/с, второго – $V_2 = 3$ м/с.

Дано:
$m_1 = 2$ кг
$m_2 = 3$ кг
$V_1 = 5$ м/с
$V_2 = 3$ м/с
а) V_3 –?
б) α –?
в) ΔW –?

Решение:

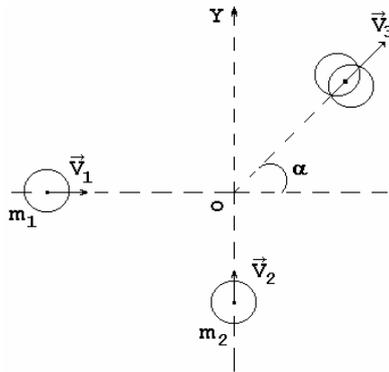


Рис.1

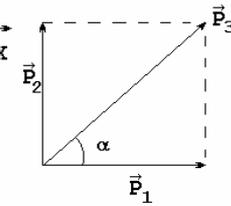


Рис.2

На горизонтальной плоскости введем систему координат ХОУ, как показано на рис.1. Соударение шаров происходит в начале системы координат. Соударение абсолютно неупругое, поэтому, шары “слипаются” и движутся вместе со скоростью \vec{V}_3 , как показано на рис. 1. Внешняя сила (сила тяжести), действующая на шары, перпендикулярна к горизонтальной плоскости и, следовательно, выполняется закон сохранения импульса:

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3, \quad (1)$$

где \vec{P}_1 – импульс первого шара до соударения, \vec{P}_2 – импульс второго шара до соударения, \vec{P}_3 – импульс шаров после соударения. Из характера движения шаров и закона сохранения импульса следует, что направления векторов $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3$ должны соответствовать рис. 2, а модули векторов связаны соотношением: $P_3^2 = P_1^2 + P_2^2$ или

$$((m_1 + m_2)V_3)^2 = (m_1V_1)^2 + (m_2V_2)^2. \quad (2)$$

Из уравнения (2) для скорости V_3 получаем:

$$V_3 = \frac{1}{m_1 + m_2} \sqrt{(m_1V_1)^2 + (m_2V_2)^2} = \frac{1}{5} \sqrt{100 + 81} = 2,7 \text{ м/с.}$$

Угол α , характеризующий направление скорости \vec{V}_3 , может быть найден из рис. 2 по формуле: $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{P_2}{P_1} = \operatorname{actg} 0,9 = 42^\circ$.

При абсолютно неупругом соударении механическая энергия тел уменьшается на величину ΔW , переходящую во внутреннюю энергию шаров. Движение происходит на горизонтальной плоскости, поэтому механическая энергия системы обусловлена кинетической энергией шаров. Окончательно, для величины ΔW следует:

$$\Delta W = \frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) V_3^2}{2} = \frac{2 \cdot 25}{2} + \frac{3 \cdot 9}{2} - \frac{5 \cdot 7,3}{2} = 20,25 \text{ Дж.}$$

Ответ: $V_3 = 2,7 \text{ м/с}$; $\alpha = 42^\circ$; $\Delta W = 20,25 \text{ Дж}$.

12. На дистанционной скамье Жуковского вращается с частотой $n_1 = 1 \text{ об/с}$ человек, держащий в центре горизонтально расположенный металлический стержень массой $m = 5 \text{ кг}$ и длиной $l = 1,5 \text{ м}$. Определить частоту вращения человека n_2 и совершенную работу A , если он повернет стержень в вертикальное положение. Момент инерции человека и скамьи $I_0 = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

<p>Дано:</p> <p>$n_1 = 1 \text{ об/с}$</p> <p>$m = 5 \text{ кг}$</p> <p>$l = 1,5 \text{ м}$</p> <p>$I_0 = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$</p>	<p>Решение:</p> <p>Вращение человека со стержнем происходит вокруг вертикальной оси, момент внешних сил относительно которой равен нулю. Поэтому величина момента импульса L относительно вертикальной оси остается неизменной при повороте стержня, т. е. $L_1 = L_2$ или</p>
<p>а) n_2 —?</p>	$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2, \quad (1)$
<p>б) A —?</p>	<p>где I_1 и ω_1 — момент инерции и угловая скорость человека со стержнем, горизонтально расположенным;</p>

I_2 и ω_2 — момент инерции и угловая скорость человека со стержнем, вертикально расположенным. Угловая скорость ω и число оборотов в единицу времени связаны соотношением:

$$\omega = 2\pi n \quad (2)$$

Момент инерции стержня I_c относительно оси, перпендикулярной к стержню и проходящей через его центр масс, равен $I_c = \frac{1}{12} ml^2$.

Поэтому:

$$I_1 = I_0 + I_c = I_0 + \frac{1}{12} ml^2. \quad (3)$$

При повороте стержня в вертикальное положение его момент инерции становится равным нулю. Следовательно,

$$I_2 = I_0. \quad (4)$$

Подставляя соотношения (2) – (4) в формулу (1), получим:

$(I_0 + \frac{1}{12} ml^2) 2\pi n_1 = I_0 2\pi n_2$. Отсюда для величины n_2 следует:

$$n_2 = (1 + \frac{ml^2}{12I_0}) n_1 = (1 + \frac{5 \cdot 2,25}{12 \cdot 5}) \cdot 1 = 1,19 \text{ об/с.}$$

Работа A , совершенная человеком при повороте стержня, равна изменению кинетической энергии. Поэтому:

$$A = \frac{I_2 \omega_2^2}{2} - \frac{I_1 \omega_1^2}{2} = \frac{4\pi^2}{2} \{ I_0 n_2^2 - (I_0 + \frac{ml^2}{12}) n_1^2 \} = 2(3,14)^2 \{ 5(1,19)^2 - (5 + \frac{5 \cdot 2,25}{12}) \cdot 1^2 \} = 22,5 \text{ Дж.}$$

Ответ: $n_2 = 1,19$ об/с; $A = 22,5$ Дж.

ЗАДАЧИ

1.44. Платформа в виде диска вращается по инерции около вертикальной оси с частотой $n_1 = 14 \text{ мин}^{-1}$. На краю платформы стоит человек. Когда человек перешел в центр платформы, частота возросла до $n_2 = 25 \text{ мин}^{-1}$. Масса человека $m = 70 \text{ кг}$. Определить массу платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

(178 кг).

1.45. Человек массой $m_0 = 60 \text{ кг}$ находится на неподвижной платформе массой $m = 100 \text{ кг}$. С какой частотой n будет вращаться платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом $r = 5 \text{ м}$ вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно

платформы $V_0=4$ км/ч. Радиус платформы $R=10$ м. Считать платформу однородным диском, а человека – точечной массой.

$$(n=0,49 \text{ об./мин}).$$

1.46. Шар скатывается с наклонной плоскости высотой $h=90$ см. Какую линейную скорость будет иметь шар в тот момент, когда он скатится с наклонной плоскости? Момент инерции шара $J=0,4 m \cdot R^2$.

$$(3,55 \text{ м/с}).$$

1.47. Два шара движутся навстречу друг другу вдоль оси X . Масса первого шара $m_1=0,20$ кг, масса второго шара $m_2=0,30$ кг. До столкновения проекции скоростей шаров на ось равны $V_{1x}=1$ м/с, $V_{2x}=-1$ м/с. Найти проекции скоростей шаров V'_{1x} и V'_{2x} после центрального абсолютного упругого соударения.

$$(V'_{1x}=-1,4 \text{ м/с}; V'_{2x}=0,60 \text{ м/с}).$$

1.48. Тонкий однородный стержень длиной L может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня перпендикулярно ему. Стержень отклонили на 90° от положения равновесия и отпустили. Определить скорость V нижнего конца стержня в момент прохождения равновесия.

$$(V=\sqrt{3gL}).$$

1.49. Тонкий однородный стержень длиной l и массой m может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. Стержень устанавливают горизонтально и отпускают. Пренебрегая трением, определить угловую скорость стержня в момент прохождения им положения равновесия. Построить график зависимости углового ускорения стержня от угла между стержнем и горизонтом.

$$(\omega=\sqrt{\frac{3g}{L}}).$$

1.50. Сплошной однородный шар скатывается по наклонной плоскости длиной 5 м. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha=30^\circ$. Определить скорость шара в конце наклонной плоскости, время движения шара до горизонтальной поверхности и качественно найти зависимость кинетической энергии шара от времени. Потерями энергии

пренебречь. Момент инерции шара относительно оси, проходящей через центр масс, $J_0 = \frac{2}{5} mR^2$.

$$(V=5,9 \text{ м/с}; t=1,7 \text{ с}).$$

1.51. Сплошной цилиндр катится по горизонтальной поверхности в течение времени $t=3$ с и останавливается, пройдя расстояние 9 м. Определить коэффициент трения μ , считая его постоянным. Построить качественно зависимость кинетической энергии тела как функцию времени движения.

$$(\mu=0,31).$$

1.52. Вал массой $m=50$ кг и радиусом $R=5$ см вращался с частотой $n=10$ об/с. К его цилиндрической поверхности прижали тормозную колодку с силой $F=30$ Н, и через 8 с после начала торможения вал остановился. Определить коэффициент трения μ , считая его постоянным. Построить график зависимости угловой скорости и углового ускорения вала как функцию времени на интервале торможения.

$$(\mu=0,33).$$

1.53. Шар и сплошной диск имеют одинаковые массы и катятся без проскальзывания по горизонтальной поверхности с одинаковыми постоянными скоростями. Кинетическая энергия шара $W_1=70$ Дж. Определить кинетическую энергию диска W_2 . Найти отношение проекций момента импульса тел L_{z1}/L_{z2} на мгновенную ось вращения, если $R_1/R_2=0,7$.

$$(W_2=75 \text{ Дж}; \frac{L_{z1}}{L_{z2}}=0,56).$$

1.54. Тело массой M подвешено на нити длиной l . В тело попадает пуля массой m и застревает в нем, нить после этого отклоняется на угол α . Найти скорость пули V . Считать, что вся масса тела M сосредоточена на расстоянии l от точки подвеса.

$$(V = \frac{M+m}{m} \sqrt{2gl(1-\cos \alpha)}).$$

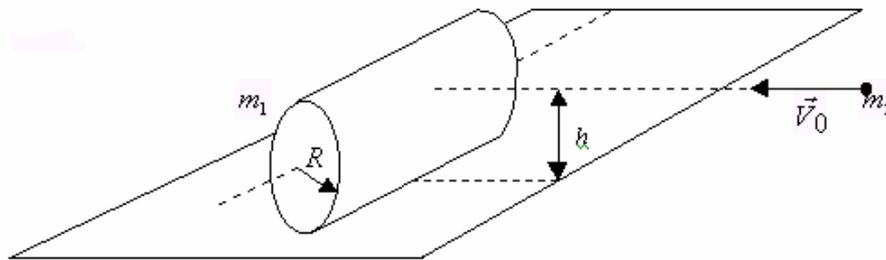
1.55. Сколько времени будет скатываться цилиндр с наклонной плоскости длиной $l=2$ м и высотой $h=0,1$ м, если считать что

проскальзывания нет? Качественно постройте зависимость кинетической W_k и потенциальной W_n энергии цилиндра как функцию времени.

$$(t=3,5\text{с}).$$

1.56. Два шара массами $m_1=10$ кг и $m_2=15$ кг подвешены на нитях длиной $l=2$ м так, что шары соприкасаются между собой. Меньший шар был отклонен на угол $\varphi=60^\circ$ и отпущен. Определить высоту, на которую поднимутся оба шара после соударения. Соударение шаров считать неупругим.

$$(h=0,16\text{ м}).$$



1.57. В цилиндр массой $m_1=3$ кг и радиусом $R=10$ см, покоящийся на плоскости, попадает пуля массой $m_2=9$ г, летящая со скоростью $v_0=60$ м/с. Пуля летит параллельно плоскости на высоте $h=0,12$ м от нее и перпендикулярно образующей цилиндра. Считая удар абсолютно неупругим, найдите линейную скорость оси цилиндра, угловую скорость цилиндра. Проскальзыванием цилиндра пренебречь.

$$\left(\omega = \frac{m_2 v_0 h}{1,5 m_1 R^2} = 1,44 \text{ рад/с}, V = 0,14 \text{ м/с}\right).$$

1.58. Тела с массами m_1 и m_2 связаны невесомой и нерастяжимой нитью, которая переброшена через блок массой m , установленный на краю стола. Тело m_1 находится на поверхности стола в закрепленном состоянии. Тело m_2 свободно висит. В момент времени $t=0$ тело m_1 освободили, и вся система пришла в движение. Считая коэффициент трения между столом и телом m_1 равным μ , пренебрегая скольжением нити по блоку и трением в оси блока, найти работу сил трения за первые t_1 секунд после начала движения. Блок считать однородным диском.

$$\left(A = -\frac{m_1 \mu (m_2 - m_1 \mu)}{2(m_1 + m_2 + \frac{m}{2})} g^2 t_1^2\right).$$

1.59. Стальной шарик массой $m=8$ г, летящий горизонтально со скоростью 600 м/с, попадает в брусок массой $M=4m$, прикрепленный к стенке пружиной с жесткостью $k=24$ кН/м. Считая, что траектория шарика перпендикулярна поверхности бруска и совпадает с осью пружины, определить величину максимального сжатия пружины, если соударение было: а) абсолютно неупругим;

б) абсолютно упругим.

Записать закон изменения деформации пружины как функцию от времени для случаев а и б.

$$(x_m = 15 \text{ см}; x_m = 28 \text{ см}).$$

1.60. Поршень, закрепленный на пружине жесткостью $k=10$ кН/м, после застревания в нем горизонтально летевшей со скоростью $V=520$ м/с пули массой 20 г сместился на $x=8$ см. Определить массу поршня M , если сила трения его о стенки цилиндра составляет 900 Н.

$$(M=0,5 \text{ кг}).$$

1.61. Нить с подвешенным на ней грузом отклонили на угол α и отпустили. На какой угол β отклонится нить с грузом, если при своем движении будет задержана штифтом, поставленным по вертикали посередине нити? Построить качественную зависимость скорости груза от времени, полагая, что потеря энергии в системе не происходит.

$$(\beta = \arccos(2 \cos \alpha - 1)).$$

1.62. Хоккейная шайба, имея начальную скорость $V=5$ м/с, проходит до удара о борт площадки путь $S=10$ м. Коэффициент трения шайбы о лед 0,1. Считая удар о борт абсолютно упругим и пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какой путь пройдет шайба после удара. Построить график зависимости $Vx=f(x)$, полагая положительное направление оси Ox к борту.

$$(S_1=2,7 \text{ м}).$$

1.63. Человек стоит на неподвижной тележке и бросает горизонтально камень массой $m_1=2$ кг со скоростью $V=8$ м/с. Определить, какую работу A совершает при броске человек, если масса тележки с человеком $m_2=140$ кг. Постройте график зависимости работы $A=f(m_2)$, если m_2 – величина переменная.

$$(A=63,1 \text{ Дж}).$$

1.64. Гимнаст "крутит солнце" на перекладине. Считая, что вся масса гимнаста m сосредоточена в его центре масс и скорость гимнаста в верхней точке равна нулю, определить силу, действующую на руки гимнаста в низшей точке. Построить график зависимости вертикальной составляющей скорости гимнаста от времени $V_y=f(t)$. За начало отсчета принять верхнее положение гимнаста. Трением пренебречь.

$$(F=5mg).$$

Релятивистская механика. Механика жидкости и газа

Примеры решения задач

13. Плотность покоящегося в системе отсчета K однородного тела в движущейся K' - системе отсчета возрастает на 10%. Определить скорость движения тела \mathcal{G} и изменение массы тела $\frac{m - m_0}{m_0}$ относительно K' - системы отсчета.

<p>Дано:</p> $\frac{\rho}{\rho_0} = 1,1$	<p>Решение:</p> <p>Плотность ρ_0 однородного тела в K-системе отсчета имеет вид:</p>
<p>а) \mathcal{G}-?</p> <p>б) $\frac{m - m_0}{m_0}$ - ?</p>	$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, \quad (1)$ <p>где m_0 – масса покоя тела, V_0 – объем тела в K-системе отсчета. Как известно, в движущей K'-системе отсчета масса m того же тела определяется выражением:</p> $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}^2}{c^2}}}, \quad (2)$

где \mathcal{G} – скорость тела относительно K' -системы отсчета, c – скорость света в вакууме. Явление лоренцева сокращения для объема V тела в K' -системе отсчета дает выражение:

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3) и условия задачи для скорости тела в К'–системе отсчета следует уравнение:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho_0}{1 - \frac{g^2}{c^2}}. \quad (4)$$

Отсюда для скорости тела получается:

$$g = c \sqrt{\frac{\frac{\rho}{\rho_0} - 1}{\frac{\rho}{\rho_0}}} = 3 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{0,1}{1,1}\right)^{1/2} = 0,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Из выражения (2) для изменения массы тела вытекает:

$$\frac{m - m_0}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}} - 1 = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} - 1 = 0,049 = 4,9\%$$

Ответ: $g = 0,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $\frac{m - m_0}{m_0} = 0,049$.

14. Шприц, используемый для промывки и смазки шарнирных соединений автомобиля, заполнен керосином плотностью $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$. Радиус поршня шприца $R = 2 \text{ см}$, ход поршня $l = 25 \text{ см}$, радиус выходного отверстия $r = 2 \text{ мм}$. Определить скорость вытекания керосина g_2 из шприца, время τ , за которое будет выдавлен весь керосин из шприца, если давить на поршень с постоянной силой $F = 5 \text{ Н}$. Вязкостью керосина, трением поршня о стенки пренебречь.

Дано:

$$\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$$

$$R = 2 \text{ см}$$

$$l = 25 \text{ см}$$

$$r = 2 \text{ мм}$$

$$F = 5 \text{ Н}$$

Решение:

Движение керосина по шприцу соответствует течению идеальной жидкости по двум соединенным цилиндрическим сосудам. В первом – площади поперечного сечения

$$S_1 = \pi \cdot R^2. \quad (1)$$

$$\begin{array}{l}
 \text{а) } \vartheta_2 - ? \\
 \text{б) } \tau - ?
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \text{керосин движется со скоростью } \vartheta_1, \text{ во втором} - \\
 \text{площади поперечного сечения} \\
 S_2 = \pi \cdot r^2.
 \end{array} \right. \quad (2)$$

Керосин вытекает со скоростью ϑ_2 . Давление P_1 в первом сосуде, обусловившее движение жидкости, создается поршнем и равно:

$$P_1 = \frac{F}{S_1}. \quad (3)$$

Для нахождения искомых величин используем уравнения неразрывности и уравнение Бернулли в сечениях S_1 и S_2 :

$$\begin{cases}
 \vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2 \\
 \frac{\rho \vartheta_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho \vartheta_2^2}{2}
 \end{cases} \quad (4)$$

Из системы уравнений (4) с учетом формул (1) – (3) для скорости вытекания керосина ϑ_2 получается:

$$\vartheta_2 = \left(\frac{2F}{\pi R^2 \rho \left(\frac{R^4}{r^4} - 1 \right)} \right)^{1/2} \cdot \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 5}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 10^3 \cdot 10^4} \right)^{1/2} \cdot 10^2 = 3,15 \text{ м/с}.$$

Скорость движения керосина в шприце ϑ_1 и скорость движения поршня равны. Поэтому время, за которое будет выдавлен весь керосин из шприца, следует из соотношения: $\tau = \frac{l}{\vartheta_1} = \frac{l \cdot R^2}{\vartheta_2 \cdot r^2} = \frac{0,25 \cdot 10^2}{3,15} = 7,9 \text{ с}$.

Ответ: $\vartheta_2 = 3,15 \text{ м/с}$; $\tau = 7,9 \text{ с}$.

ЗАДАЧИ

1.65. За промежуток времени $\Delta t = 1,0 \text{ с}$, отсчитанный по часам некоторой системы отсчета K , частица, двигаясь прямолинейно и равномерно, переместилась из начала координат системы K в точку с координатами $X=Y=Z=1,5 \cdot 10^8 \text{ м}$. Найти промежуток собственного времени Δt_0 , за который произошло это перемещение.

($\Delta t = 0,5 \text{ с}$).

1.66. Относительно K -системы отсчета летит куб со скоростью $V=V_x$. Ребро куба равно a . Ось X параллельна одному из ребер куба. Чему равен его объем V в K -системе отсчета? Во сколько раз изменится объем тела V по сравнению с объемом V относительно неподвижной к кубу системы отсчета? Годится ли полученный ответ для тела произвольной формы?

1.67. Как изменится плотность стального кубика с точки зрения наблюдателя, движущегося вдоль одного из ребер кубика со скоростью $\vec{g} = (C/2)\vec{e}_x$ по сравнению с плотностью относительно наблюдателя, покоящегося по отношению к кубику?

1.68. Электрон движется со скоростью, равной 0,6 скорости света. Определите импульс и полную энергию электрона.

$$(p=20,5 \cdot 10^{-23} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}; W=10^{-13} \text{ Дж}).$$

1.69. Две частицы, покоящиеся в K' - системе отсчета на расстоянии Δl друг от друга по оси X' , одновременно распадаются. Одновременным ли будет распад частиц для наблюдателя в K -системе отсчета, относительно которой частицы двигались со скоростью $\vec{g} = g \cdot \vec{e}_x$?

1.70. Определить периметр Π квадрата со стороной a , движущегося со скоростью $\vec{g} = (C/2)\vec{e}_x$ вдоль одной из своих сторон, где C – скорость света.

1.71. В широкой части горизонтально расположенной трубы течет нефть со скоростью $g_1=2$ м/с. Определить скорость течения нефти в узкой части трубы, если разность давлений в широкой и узкой частях трубы $\Delta p=50$ мм рт.ст. Плотность нефти $\rho=0,85 \cdot 10^3$ кг/м³.

$$(g_2=4,4 \text{ м/с}).$$

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Основы молекулярно-кинетической теории

Примеры решения задач

15. Удельные теплоемкости некоторого газа равны $c_p = 912$ Дж/кг·К и $c_v = 649$ Дж/кг·К. Определить молярную массу μ этого газа, число степеней свободы i его молекул.

Дано:	Решение
$c_p = 912$ Дж/кг·К $c_v = 649$ Дж/кг·К	Как известно, молярные теплоемкости C_p и C_v при постоянном давлении и постоянном объеме, соответственно, связаны соотношением
а) μ –?	$C_p = C_v + R, \quad (1)$
б) i –?	где R – универсальная газовая постоянная. Отсюда, для связи соответствующих удельных теплоемкостей получается
	$c_p = c_v + \frac{R}{\mu}. \quad (2)$

Из выражения (2) найдем молярную массу газа:

$$\mu = \frac{R}{c_p - c_v} = \frac{8,314}{912 - 649} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

Удельная теплоемкость при постоянном объеме связана с числом степеней свободы молекул газа i выражением:

$$c_v = \frac{i \cdot R}{2 \cdot \mu}. \quad (3)$$

Из формулы (3) получается значение числа степеней свободы

молекул газа:
$$i = \frac{2c_v \mu}{R} = \frac{2 \cdot 649 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8,314} = 5.$$

Ответ: $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; $i = 5$.

ЗАДАЧИ

2.1. Имеется поток молекул массой m , летящих с одинаковой по модулю и направлению скоростью v . Плотность молекул в потоке n . Найти:

а) число ν ударов молекул за секунду о единицу поверхности плоской стенки, нормаль к которой образует угол α с направлением \vec{v} ;

б) давление p потока молекул на стенку. Считать, что молекулы отражаются стенкой зеркально и без потери энергии.

$$(a) \nu = n v \cos(\alpha) \quad б) p = 2 n m v^2 \cos^2(\alpha).$$

2.2. Определить кинетическую энергию $W_{кр}$ поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объёмом $V=5$ л под давлением $p=500$ кПа. Определить молярные теплоёмкости C_p и C_v этого газа, если считать, что полная кинетическая энергия молекул этого газа в 1,666 раз превышает $W_{кр}$.

$$(W_{кр}=3,75 \text{ кДж}; C_p=29 \text{ Дж/ моль} \cdot \text{К}; C_v=21 \text{ Дж/ моль} \cdot \text{К}).$$

2.3. Каково давление смеси газов в колбе объёмом 2,5 л, если в ней находится 10^{15} молекул кислорода, $4 \cdot 10^{15}$ молекул азота и $3,3 \cdot 10^7$ г аргона? Температура смеси $t=150$ °С. Найти молярную массу смеси газа.

$$(P=23,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}; \mu=34,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}).$$

2.4. В рассматриваемом интервале температур теплоемкость некоторого тела определяется функцией $C=10+2 \cdot 10^{-2} T+3 \cdot 10^{-5} T^2$ (Дж/К). Определить количество теплоты Q , получаемое телом при нагревании от $T_1=300$ К до $T_2=400$ К.

$$(Q = 2,07 \cdot 10^3 \text{ Дж}).$$

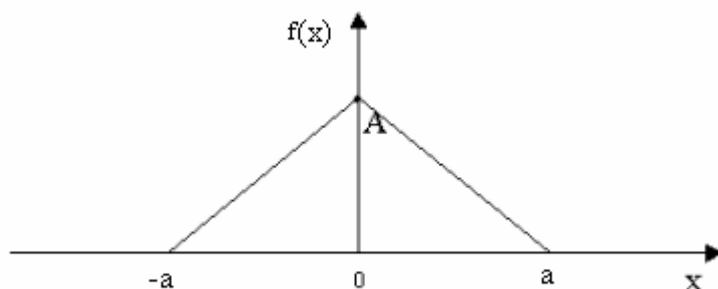
2.5. Некоторый газ при нормальных условиях имеет плотность $\rho=0,089$ кг/м³. Определить его удельные теплоемкости c_p и c_v . Определить изменение внутренней энергии ΔU этого газа при изобарическом увеличении его плотности в два раза.

$$(c_p=14,5 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}; c_v=10,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}).$$

Элементы статистической физики, распределения

Примеры решения задач

16. На рисунке приведен график функции распределения некоторой случайной величины x . Считая известной величину a , определить константу A из условия нормировки функции распределения. Вычислить среднее значения x и x^2 .



Решение:

Знание функции распределения $f(x)$ позволяет найти среднее любой функции $\Phi(x)$ по формуле:

$$\langle \Phi(x) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(x) f(x) dx. \quad (1)$$

Для определения вида функции распределения необходимо найти константу A . Это можно сделать из условия нормировки функции распределения:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (2)$$

Из геометрической интерпретации этого интеграла следует, что выражение (2) равно площади под кривой графика функции распределения,

т. е. $A \cdot a = 1$. Отсюда для константы A получается $A = \frac{1}{a}$. По известной величине A и по графику можно установить аналитический вид функции распределения $f(x)$:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & -\infty < x < -a \\ \frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} & -a \leq x < 0 \\ -\frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} & 0 \leq x \leq a \\ 0 & 0 < x < +\infty \end{cases}. \quad (3)$$

Из формул (1) и (3) для средних значений $\langle x \rangle$ и $\langle x^2 \rangle$ следует:

$$\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) \cdot dx = \int_{-\infty}^{-a} 0 \cdot dx + \int_{-a}^0 x \cdot \left(\frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} \right) \cdot dx + \int_0^a x \cdot \left(-\frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} \right) \cdot dx + \int_a^{\infty} 0 \cdot dx = 0$$

$$\langle x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \cdot f(x) \cdot dx = \int_{-\infty}^{-a} 0 \cdot dx + \int_{-a}^0 x^2 \cdot \left(\frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} \right) \cdot dx + \int_0^a x^2 \cdot \left(-\frac{x}{a^2} + \frac{1}{a} \right) \cdot dx + \int_a^{\infty} 0 \cdot dx = \frac{a^2}{6}$$

Ответ: $A = \frac{1}{a}$; $\langle x \rangle = 0$; $\langle x^2 \rangle = \frac{a^2}{6}$.

17. На какой высоте h давление воздуха вдвое меньше, чем на уровне моря? Температура воздуха $T = 290$ К.

Дано:

$$\frac{P(h)}{P_0} = 0,5$$

$$T = 290 \text{ К}$$

$$\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$h - ?$$

Решение:

Зависимость давления $P(h)$ атмосферы от высоты выражается барометрической формулой:

$$P(h) = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu g h}{RT}\right), \quad (1)$$

где P_0 – давление на уровне моря, μ – молярная масса воздуха, g – ускорение свободного падения, R – универсальная газовая постоянная.

Логарифмирование выражения (1) дает:

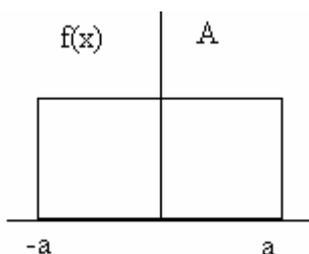
$$\ln \frac{P(h)}{P_0} = -\frac{\mu g h}{RT}. \quad (2)$$

Из соотношения (2) находим высоту h : $h = -\ln \frac{P(h)}{P_0} \cdot \frac{RT}{\mu g}$

$$h = \frac{0,693 \cdot 8,314 \cdot 290}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81} = 5,87 \text{ км.}$$

Ответ: $h = 5,87$ км.

ЗАДАЧИ



2.6. На рисунке приведен график функции распределения вероятности значения некоторой величины x . Найти константу A , при которой функция оказывается нормированной. Вычислить среднее значение x и x^2 .

$$(A=1/2a, \langle x \rangle = 0, \langle x^2 \rangle = a^2/3).$$

2.7. Азот находится в равновесном состоянии при $T=421$ К. Определить относительное число $\Delta N/N$ молекул, скорости которых заключены в пределах от 499,9 до 500,1 м/с.

$$(\Delta N/N = 3,32 \cdot 10^{-4}).$$

2.8. Имеется N частиц, энергия которых может принимать лишь два значения: E_1 и E_2 . Частицы находятся в равновесном состоянии при температуре T . Чему равна суммарная энергия E всех частиц в этом состоянии?

$$(E = N \frac{E_1 \exp(\frac{-E_1}{kT}) + E_2 \exp(\frac{-E_2}{kT})}{\exp(\frac{-E_1}{kT}) + \exp(\frac{-E_2}{kT})}).$$

2.9. Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу $m=10^{-18}$ г. Во сколько раз уменьшится их концентрация n при увеличении высоты на $\Delta h=10$ м? Температура воздуха $T=300$ К.

$$(В $e^{23.6}$ раз).$$

2.10. В кабине вертолета барометр показывает давление $p=9 \cdot 10^4$ Па. На какой высоте находится вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал $p_0=10^5$ Па? Считать, что температура воздуха $T=290$ К не изменяется с высотой.

$$(h=890 \text{ м}).$$

2.11. На какой высоте давление воздуха составляет 60 % от давления на уровне моря? Температуру воздуха считать постоянной и равной 0 °С.

$$(h=4.07 \cdot 10^3 \text{ м}).$$

Физическая кинетика

Примеры решения задач

18. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle \lambda \rangle$, среднее число столкновений в единицу времени $\langle z \rangle$, среднюю продолжительность свободного пробега молекул водорода $\langle \tau \rangle$ в сосуде при температуре $T = 290$ К и плотности $\rho = 1$ г/м³. Эффективный диаметр молекулы водорода $d = 2,3 \cdot 10^{-10}$ м.

Дано: $T = 290$ К $\rho = 1$ г/м ³ $\mu = 2$ г/моль $d = 2,3 \cdot 10^{-10}$ м	Решение: Средняя длина свободного пробега молекул определяется концентрацией n по формуле: $\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} \quad (1)$ Среднее число столкновений в единицу времени выражается соотношением, в которое входит средняя скорость молекул $\langle \mathcal{G} \rangle : \langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n \langle \mathcal{G} \rangle \quad (2)$ Средняя продолжительность свободного пробега молекул $\langle \tau \rangle$ имеет вид: $\langle \tau \rangle = \frac{\langle \lambda \rangle}{\langle \mathcal{G} \rangle} = \frac{1}{\langle \mathcal{G} \rangle} \quad (3)$
а) $\langle \lambda \rangle$ –? б) $\langle z \rangle$ –? в) $\langle \tau \rangle$ –?	

По известной плотности газа ρ концентрация молекул n может быть вычислена из формулы: $n = \frac{\rho}{\mu} \cdot N_A$, (4)

где N_A – число Авогадро.

Средняя скорость молекул газа равна:

$$\langle \mathcal{G} \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}, \quad (5)$$

где R – универсальная газовая постоянная. Из соотношений (1) и (4) для

$$\langle \lambda \rangle \text{ получается: } \langle \lambda \rangle = \frac{\mu}{\sqrt{2}\pi d^2 \rho N_A} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1,41 \cdot 3,14 \cdot (2,3)^2 \cdot 10^{-20} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Из формул (1), (2) и (5) для $\langle z \rangle$ следует:

$$\langle z \rangle = \frac{\langle \mathcal{G} \rangle}{\langle \lambda \rangle} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \cdot \frac{1}{\langle \lambda \rangle} = \left(\frac{8 \cdot 8,31 \cdot 290}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{1,4 \cdot 10^{-8}} = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}.$$

По известному значению $\langle z \rangle$ из выражения (3) для $\langle \tau \rangle$ имеем:

$$\langle \tau \rangle = \frac{1}{\langle z \rangle} = \frac{1}{1,3 \cdot 10^{11}} = 7,7 \cdot 10^{-12} \text{ с.}$$

Ответ: $\langle \lambda \rangle = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$; $\langle z \rangle = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$; $\langle \tau \rangle = 7,7 \cdot 10^{-12} \text{ с}$.

ЗАДАЧИ

2.12. Найти среднюю длину свободного пробега $\langle \lambda \rangle$ молекулы азота в сосуде объёмом $V=5$ л. Масса газа $m=0,5$ г. Во сколько раз необходимо изобарически изменить температуру газа, чтобы длина свободного пробега молекулы уменьшилась в 2 раза?

($\langle \lambda \rangle = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $T_2/T_1 = 0,5$).

2.13. Какой наибольшей скорости может достичь дождевая капля шарообразной формы диаметром $d=0,3$ мм, если она падает в атмосфере при нормальных условиях? Считать, что на интервале установившегося движения капли давление не изменяется с высотой. Эффективный диаметр молекулы воздуха принять равным $3,0 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

($v=2,72 \text{ м/с}$).

2.14. Сколько молекул азота N находится в сосуде объёмом в 1 л, если температура его 27°C , а давление 10 Па ? Определить число столкновений z молекулы азота за 1 с. Эффективный диаметр молекулы $d=3,0 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

($N=2,4 \cdot 10^{18}$; $z=4,6 \cdot 10^5$).

2.15. На высоте $h=20$ см над горизонтальной трансмиссионной лентой, движущейся со скоростью $V=70 \text{ м/с}$, параллельно ей подвешена пластина площадью $S=4 \text{ см}^2$. Какую силу надо приложить к этой пластине, чтобы она оставалась неподвижной? В условиях опыта температура воздуха $t=27^\circ\text{C}$, давление атмосферное. Принять эффективный диаметр молекулы $d=3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

($F=2,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$).

2.16. Определить отношение числа столкновений молекул газа за единицу времени для двух состояний, если переход из одного состояния в

другое был изобарическим, а отношение объемов в этих состояниях соответствует $V_2/V_1=2$.

$$(z_2/z_1=0,71).$$

2.17. Качественно изобразить зависимость длины свободного пробега λ и числа z столкновений молекул идеального газа в секунду от давления, если газ сжимается изотермически.

2.18. Двухатомный газ адиабатически расширяется до объема в 2 раза больше начального. Определить, во сколько раз изменится коэффициент диффузии D газа. Эффективный диаметр молекулы считать постоянным.

$$(D_2/D_1=1,7).$$

2.19. Найти верхний предел давления водорода в шарообразном сосуде объемом $V=1$ л, при котором длина свободного пробега молекулы больше размеров сосуда. Расчет произвести при температуре $T=300$ К. Эффективный диаметр молекулы водорода $d_{\text{в}}=2,3 \cdot 10^{-10}$ м.

$$(0,14 \text{ Па}).$$

Термодинамические процессы, циклы

Примеры решения задач

19. Азот массой $m = 30$ г занимает объем $V_1 = 10$ л и находится под давлением $P_1 = 0,1$ МПа. Сначала этот газ нагревается при неизменном давлении до объема $V_2 = 30$ л, а затем при постоянном объеме до давления $P_2 = 0,2$ МПа. Найти:

- изменения ΔU внутренней энергии газа;
- совершенную системой работу A ;
- количество теплоты Q , переданной газу;
- конечную температуру T_3 .

Построить график процесса на $P-V$ диаграмме.

Дано:

$$m = 30 \text{ г}$$

$$V_1 = 10 \text{ л}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$V_2 = 30 \text{ л}$$

$$P_2 = 0,2 \text{ МПа}$$

$$\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

а) ΔU -?

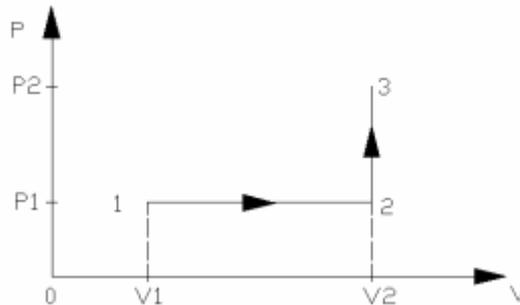
б) A -?

в) Q -?

г) T_3 -?

Решение:

Анализ условия задачи начнём с построения графика процесса на $P-V$ диаграмме, учитывая соотношения величин P_1, P_2, V_1, V_2 .



Как видно из рисунка, система из состояния 1 переходит в конечное состояние 3 сначала по изобаре 1 – 2, а затем по изохоре 2 – 3. Из графика следует, что работа A , совершенная газом в этом процессе, равна площади прямоугольника под изобарой 1 – 2, т.е.

$$A = P_1(V_2 - V_1) = 0,1 \cdot 10^6 (30 - 10) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Для определения изменения внутренней энергии газа в рассматриваемом процессе $\Delta U = U_3 - U_1$ используем уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (1)$$

и калорическое уравнение состояния двухатомного идеального газа:

$$U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{5}{2} RT. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) для ΔU следует:

$$\begin{aligned} \Delta U = U_3 - U_1 &= \frac{m}{\mu} \cdot \frac{5}{2} RT_3 - \frac{m}{\mu} \cdot \frac{5}{2} RT_1 = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \\ &= \frac{5(0,2 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3})}{2} = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Из первого закона термодинамики для количества теплоты Q , переданного газу, получается:

$$Q = \Delta U + A = 14,5 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

Из уравнения Клапейрона–Менделеева (1) для конечной температуры газа T_3 имеем:

$$T_3 = \frac{P_2 \cdot V_2 \cdot \mu}{m \cdot R} = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 8,314} = 674 \text{ К.}$$

Ответ: $\Delta U = 12,5 \cdot 10^3$ Дж; $A = 2 \cdot 10^3$ Дж; $Q = 14,5 \cdot 10^3$ Дж; $T_3 = 674$ К.

20. Одноатомный газ, имевший при давлении $P_1 = 100$ кПа объем $V_1 = 5$ м³, сжимался изобарически до объема $V_2 = 1$ м³, затем – адиабатически и, на последнем участке цикла, расширялся при постоянной температуре до начального объема и давления. Найти теплоту Q_1 , полученную газом от нагревателя, теплоту Q_2 , переданную газом холодильнику, работу A , совершенную газом за весь цикл, КПД цикла η . Изобразить цикл на P – V диаграмме.

Дано:

$$i = 3$$

$$P_1 = 100 \text{ кПа}$$

$$V_1 = 5 \text{ м}^3$$

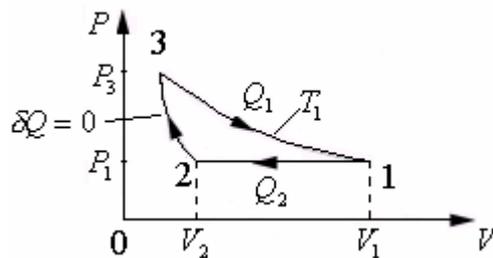
$$V_2 = 1 \text{ м}^3$$

а) Q_1 – ?

б) Q_2 – ?

в) A – ?

г) η – ?



Анализ условия задачи начнём с построения графика цикла на P – V диаграмме, учитывая соотношения величин P_1 , P_3 , V_1 , V_2 , V_3 .

Как видно из рисунка, на первом участке цикла 1-2 газ сжимался изобарически, отдавая холодильнику количество теплоты Q_2 и совершая работу A_{12} . По первому закону термодинамики для перехода из состояния 1 в состояние 2 можно записать:

$$Q_2 = U_2 - U_1 + A_{12}, \quad (1)$$

где $U_2 - U_1$ – изменения внутренней энергии газа. Калорическое уравнение состояния одноатомного газа имеет вид:

$$U = \nu \cdot \frac{3}{2} \cdot RT, \quad (2)$$

где ν – количество вещества, а уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$PV = \nu \cdot RT. \quad (3)$$

Используется уравнения (2), (3) и тот факт, что работа газа на участке 1 – 2 равна площади прямоугольника (с обратным знаком) под изобарой 1 – 2, для количества теплоты Q_2 из соотношения (1) получим:

$$Q_2 = \frac{3}{2} P_1(V_2 - V_1) + P_1(V_2 - V_1) = \frac{5}{2} \cdot P_1(V_2 - V_1) = -\frac{5}{2} \cdot 10^5 \cdot 4 = -1 \cdot 10^6 \quad \text{Дж}$$

Знак “ минус” показывает, что количество теплоты Q отдаётся газом холодильнику.

Количество теплоты Q_1 , которое получает газ от нагревателя на изотерме 3 – 1 при температуре T_1 , по первому закону термодинамики равно

$$Q_1 = A_{31}, \quad (4)$$

где A_{31} – работа, совершённая газом на участке 3 – 1.

Как известно, работа газа при изотермическом процессе определяется формулой

$$A_{31} = \nu \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right). \quad (5)$$

Состояния (3) и (1) находятся на одной изотерме, поэтому

$$P_3 V_3 = P_1 V_1. \quad (6)$$

В то же время состояния (3) и (2), как видно из рисунка, соответствуют одной адиабате, поэтому из уравнения Пуассона следует:

$$P_3 \cdot V_3^\gamma = P_1 \cdot V_2^\gamma, \quad (7)$$

где γ – показатель адиабаты одноатомного идеального газа. Исключая из уравнения (6) и (7) величины давления P_3 и P_1 , получим

$$\frac{V_1}{V_3} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (8)$$

Используя формулы (3), (5) и (8) для количества теплоты Q_1 из соотношения (4) имеем:

$$Q_1 = A_{31} = \nu \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_1}{V_3} = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \frac{5}{2} \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot \ln 5 = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Работа A , совершённая газом за цикл, как вытекает из первого закона термодинамики, равна: $A = Q_1 - |Q_2| = 1 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Для КПД цикла η имеем: $\eta = \frac{A}{Q_1} = 0,5 = 50\%$

Ответ: $Q_1 = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; $Q_2 = -1 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; $A = 1 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; $\eta = 50\%$

ЗАДАЧИ

2.20. Молекулярный кислород массой $m=250$ г, имевший температуру $T_1=200$ К, был адиабатно сжат. При этом была совершена работа $A=-25$ кДж. Определить конечную температуру T_2 газа.

(354 К).

2.21 Газ адиабатически расширяется, изменяя объем в 2 раза, а давление в 2,64 раза. Определить молярные теплоемкости C_p и C_v этого газа.

($C_p=29,1$ Дж/мольК, $C_v=20,8$ Дж/мольК).

2.22. Некоторое количество азота ν , имеющего параметры состояния p_1, V_1, T_1 , переходит при постоянной температуре в состояние 2, а затем при постоянном объеме – в состояние 3. Определить работу перехода 1-3, изменение внутренней энергии газа и теплоту, полученную при переходах, если в конце процесса установилась температура T_3 и давление $p_3=p_1$. Изобразить процесс 1-3 на диаграмме $V-T$.

($A_{13}=\nu RT_1 \ln(T_3/T_1)$; $\Delta U_{13}=(5/2)\nu R(T_3-T_1)$;
 $Q=\nu R[(5/2)(T_3-T_1)+T_1 \ln(T_3/T_1)]$).

2.23. Азот плотностью $\rho_1=1,4$ кг/м³ занимает объем $V_1=5$ л при температуре $t_1=27$ °С. Газ адиабатически переведен в состояние с плотностью $\rho=3,5$ кг/м³. Определить температуру газа T_2 в конце перехода и изменение его внутренней энергии. Построить переход на диаграмме $S-T$.

($T_2=433$ К; $\Delta U=197$ Дж).

2.24. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону $p^{1/2} \cdot V = \text{const}$? Изобразите этот закон на диаграмме ($V-T$). Считая этот процесс политропическим, определить, чему равен показатель политропы η . При расширении газа тепло подводится к нему или отводится от него? Сравнить теплоёмкость C этого процесса с C_v .

($C > C_v$).

2.25. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону $p^2 V = \text{const}$? Изобразите этот закон на диаграмме ($p-T$). Считая этот процесс политропическим, определить, чему равен

показатель политропы η . При расширении газа тепло подводится к нему или отводится от него? Сравнить теплоёмкость C этого процесса с C_V .

$$(\eta = \frac{1}{2}; C > C_V).$$

2.26. В сосуде вместимостью $V=10$ л находится идеальный газ под давлением $p_1=10^5$ Па. Стенки сосуда могут выдержать максимальное давление $p_2=10^6$ Па. Какое максимальное количество тепла Q можно сообщить газу? Показатель адиабаты $\gamma=1,4$.

$$(Q=23 \text{ кДж}).$$

2.27. Некоторую массу азота сжали в 5 раз (по объёму) двумя разными способами: один раз изотермически, другой раз адиабатически. Начальное состояние газа в обоих случаях одинаково. Найти отношение соответствующих работ, затраченных на сжатие газа. Изобразить процессы в координатах $(P-V)$ и $(T-S)$.

$$(A_T/A_A=0,712).$$

2.28. В бензиновом автомобильном двигателе степень сжатия горючей смеси равна 6,2. Смесь засасывается в цилиндр при температуре $t_1=15$ °С. Найти температуру t_2 горючей смеси к концу такта сжатия. Горючую смесь рассматривать как двухатомный идеальный газ, процесс считать адиабатным.

$$(324 \text{ °С}).$$

2.29. Тепловая машина работает по циклу Карно, КПД которого $\eta=0,25$. Каков будет холодильный коэффициент $\kappa_{\text{хол}}$ машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении? Холодильным коэффициентом называется отношение количества теплоты, отнятого от охлаждаемого тела, к работе двигателя, приводящего в движение машину.

$$(\kappa_{\text{хол}}=3).$$

2.30. Один моль одноатомного идеального газа совершает тепловой цикл Карно между тепловыми резервуарами с температурами $t_1=127$ °С и $t_2=27$ °С. Наименьший объем газа в ходе цикла $V_1=5$ л, наибольший –

$V_3=20$ л. Какую работу A совершает эта машина за один цикл? Сколько тепла Q_1 берет она от высокотемпературного резервуара за один цикл? Сколько тепла Q_2 поступает за цикл в низкотемпературный резервуар?

$$(Q_1=3240 \text{ Дж}, Q_2=2433 \text{ Дж}, A=807 \text{ Дж}).$$

2.31. Идеальный газ совершает цикл, состоящий из изобары $p_1=\text{const}$, изотермы $T_2=\text{const}$, изобары $p_3=\text{const}$ и изотермы $T_1=\text{const}$. Следует считать, что $p_1 > p_3$, а $T_2 > T_1$. Найти термический КПД такой машины.

$$\left(\eta = \frac{T_2 \ln\left(\frac{p_1}{p_3}\right) - T_1 \ln\left(\frac{p_1}{p_3}\right)(T_2 - T_1)}{T_2 \ln\left(\frac{p_1}{p_3}\right)} \right).$$

2.32. Найти КПД цикла, состоящего из двух изохор и двух изотерм, если в пределах цикла объём изменяется в k раз, а абсолютная температура в τ раз. Рабочим веществом является идеальный газ с показателем адиабаты γ .

$$\left(\eta = \frac{(\tau-1) \ln k}{\frac{\tau-1}{\gamma-1} + \tau \ln k} \right).$$

Энтропия

Пример решения задачи

21. Найти приращение энтропии ΔS при расширении 0,20г водорода от объёма 1,5л до объёма 4,5л, если процесс расширения происходит:

- при постоянном давлении;
- при постоянной температуре.

Дано:
 $m = 0,20 \text{ г}$
 $\mu = 2 \text{ г/моль}$
 $\nu = 5$
 $V_1 = 1,5 \text{ л}$
 $V_2 = 4,5 \text{ л}$

Решение:

Для решения задачи будем опираться на выражение энтропии S идеального газа в переменных V, P и в переменных V, T . Как известно, в переменных V, P энтропия $S(V, P)$ идеального газа определяется формулой:

$$\begin{array}{l} \text{а) } \Delta S_p - ? \\ \text{б) } \Delta S_T - ? \end{array} \quad S(V, P) = \frac{m}{\mu} \cdot C_p \cdot \ln V + \frac{m}{\mu} \cdot C_v \cdot \ln P + S_0, \quad (1)$$

где $C_p = \left(\frac{\iota}{2} + 1\right) \cdot R$ – молярная теплоёмкость при постоянном давлении идеального газа, $C_v = \frac{\iota}{2} \cdot R$ – молярная теплоёмкость при постоянном объёме идеального газа,

ι – число степеней свободы молекулы газа, S_0 – постоянная величина. Из формулы (1) для приращения энтропии ΔS_p при переходе из состояния 1 в состояние 2 при постоянном давлении получим:

$$\begin{aligned} \Delta S_p &= S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} C_p \ln V_2 - \frac{m}{\mu} C_p \ln V_1 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{(\iota + 2)}{2} \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \\ &= \frac{0,20}{2} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,314 \cdot \ln 3 = 3,2 \text{ Дж/К} \end{aligned}$$

В переменных V, T энтропия $S(V, T)$ идеального газа определяется выражением:

$$S(V, T) = \frac{m}{\mu} R \cdot \ln V + \frac{m}{\mu} C_v \cdot \ln T + S'_0, \quad (2)$$

где S'_0 – постоянная величина. Из формулы (2) приращение энтропии ΔS_T – при переходе из состояния 1 в состояние 2 при постоянной температуре равно:

$$\begin{aligned} \Delta S_T &= S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \ln V_2 - \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \ln V_1 = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \\ &= \frac{0,2}{2} \cdot 8,314 \cdot \ln 3 = 0,91 \text{ Дж/К}. \end{aligned}$$

Ответ: $\Delta S_p = 3,2$ Дж/К; $\Delta S_T = 0,91$ Дж/К

ЗАДАЧИ

2.33. Какое количество тепла Q нужно сообщить 75 г водяных паров, чтобы нагреть их от 100 до 250 °С при постоянном давлении? Определите изменение энтропии водяного пара.

($Q=20,8$ кДж; $\Delta S=47,5$ Дж/К).

2.34. Определить изменение ΔS энтропии при изотермическом расширении кислорода массой $m=10$ г от объема $V_1=25$ л до объема $V_2=100$ л.

(3,6 Дж/К).

2.35. Найти изменение ΔS энтропии при нагревании воды массой $m=100$ г от температуры $t_1=0$ до температуры $t_2=100$ °С и последующим превращении воды в пар той же температуры. Удельная теплоемкость воды $C=4,18$ кДж/кг·К, удельная теплота парообразования воды 2250 кДж/кг.

(737 Дж/К).

2.36. Найти изменение ΔS энтропии при превращении массы $m=200$ г льда, находившегося при температуре $t_1=10,7$ °С в воду при $t_2=0$ °С. Теплоемкость льда считать не зависящей от температуры. Температуру плавления принять равной 273 К. $C=2,1 \cdot 10^3$ Дж/кг·К; удельная теплота плавления льда $\lambda=333 \cdot 10^3$ Дж/кг.

($\Delta S=m[C \cdot \ln(T_2/T_1)+\lambda/T_2]=261$ Дж/К).

2.37. Один киломоль газа изобарически нагревается от 20 до 600 °С, при этом газ поглощает $1,20 \cdot 10^7$ Дж тепла. Найти:

- а) число степеней свободы молекулы газа i ;
- б) построить зависимость энтропии S как функцию от температуры T газа.

($i=3$).

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Электростатика. Диэлектрики

Примеры решения задач

22. Плоское тонкое кольцо с внутренним радиусом R_1 и внешним радиусом R_2 равномерно заряжено с поверхностной плотностью заряда σ .

а) Приняв ось плоского кольца за ось X , найти напряженность электрического поля $\vec{E}(x)$ и электрический потенциал $\varphi(x)$ на оси кольца как функцию x .

б) Найти выражение для $E(x)$ и $\varphi(x)$ при $x=0$ и $|x| \gg R_2$

Дано:

$$R_1 < R_2$$

σ

а) $\vec{E}(x) - ?$

$\varphi(x) - ?$

б) $E(x) - ?$

$\varphi(x) - ?$

при $x = 0$

при $|x| \gg R_2$

Решение:

а) Для решения задачи обратимся к рис.1, на котором изображено кольцо, равномерно заряженное, и ось OX.

Для определения напряжённости \vec{E} и потенциала φ в некоторой точке А на оси OX, координата которой X, разобьём кольцо конечной ширины на бесконечно тонкие кольца шириной dr и радиусом r как показано на рис.1, (вначале рассмотрим случай $\sigma > 0$).

Бесконечно тонкое кольцо радиусом r можно представить как совокупность точечных противоположно лежащих зарядов (элементов кольца) равной величины: $dg_1 = dg_2 = dg$, как показано на рис.2. Эти точечные заряды создают напряженности $d\vec{E}_1$ и $d\vec{E}_2$ в точке А, направленные по линиям, соединяющим заряды с точкой А.

Для детального анализа проведём через точку А ось Y перпендикулярно оси OX. Как видно из рис.2, проекции dE_{1y} , dE_{2y} векторов $d\vec{E}_1$ и $d\vec{E}_2$ равны, но имеют разные знаки. Следовательно, элементы бесконечно тонкого кольца dg_1 и dg_2 создают в точке А вектор напряжённости $d\vec{E}_3$, направленный по оси OX.

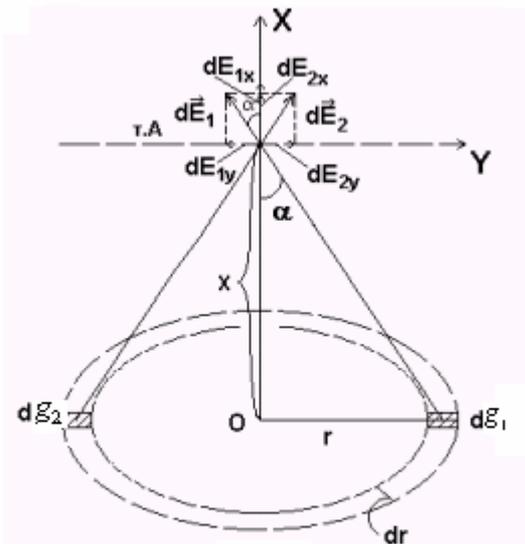


Рис.2

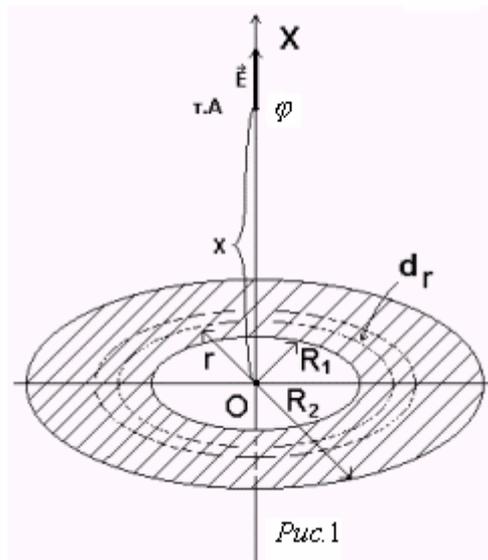


Рис.1

По принципу суперпозиции проекция вектора $d\vec{E}_3$ на ось ОХ равна:

$$dE_3 = dE_{1X} + dE_{2X} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dg}{(r^2 + x^2)} \cdot \cos\alpha \cdot 2 = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dg \cdot x}{(r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где α – угол между векторами $d\vec{E}_1$, $d\vec{E}_2$ и осью ОХ, $\cos\alpha = \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}}$.

Вектор напряженности $d\vec{E}$ от всего бесконечно тонкого кольца будет направлен в точке А вдоль оси ОХ. По принципу суперпозиций проекция вектора $d\vec{E}$ на ось ОХ определяется выражением:

$$dE = \int_0^{g_0/2} dE_3 = \int_0^{g_0/2} \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \cdot dg = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x \cdot g_0}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot r \cdot x \cdot dr}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где $g_0 = 2\pi r \cdot dr \cdot \sigma$ – заряд бесконечно тонкого кольца радиусом r .

Кольцо конечной ширины из рис.1 можно представить как совокупность бесконечно тонких колец, радиусы которых лежат в пределах от R_1 до R_2 . По принципу суперпозиций значение напряженности электростатического поля в точке на оси ОХ с координатой X получается интегрированием выражения (2):

$$E(x) = \int_{R_1}^{R_2} dE = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2\pi\sigma \cdot r \cdot x \cdot dr}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot x \left\{ \frac{1}{(R_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{1}{(R_2^2 + x^2)^{1/2}} \right\}. \quad (3)$$

Вектор напряженности направлен вдоль оси ОХ, если $\sigma > 0$ ($x > 0$) и против оси, если $\sigma < 0$ ($x > 0$).

Последовательность расчетов при определении потенциала в точке А аналогична последовательности выкладок при нахождении напряженности $E(x)$. Как следует из рис.2, потенциал в точке А $d\varphi_3$ от элементов бесконечно тонкого кольца dg_1 и dg_2 по принципу суперпозиций равен сумме:

$$d\varphi_3 = d\varphi_1 + d\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dg}{(r^2 + x^2)^{1/2}} \cdot 2, \quad (4)$$

где $d\varphi_1$ – потенциал в точке А от элемента dg_1 , $d\varphi_2$ – потенциал в точке А от элемента dg_2 .

По принципу суперпозиций потенциал $d\varphi$ в точке А от всего бесконечно тонкого кольца определяется выражением:

$$d\varphi = \int_0^{g_0/2} d\varphi_3 = \int_0^{g_0/2} \frac{1 \cdot 2 \cdot dg}{4\pi\epsilon_0 \cdot (r^2 + x^2)^{1/2}} = \frac{\sigma \cdot r \cdot dr}{2\epsilon_0 (r^2 + x^2)^{1/2}}. \quad (5)$$

Значение потенциала $\varphi(x)$ в точке с координатой x на оси ОХ от кольца конечной ширины из рис.1 получается интегрированием соотношения (5):

$$\varphi(x) = \int_{R_1}^{R_2} d\varphi = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\sigma \cdot r \cdot dr}{2\varepsilon_0 (r^2 + x^2)^{1/2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \left\{ (R_2^2 + x^2)^{1/2} - (R_1^2 + x^2)^{1/2} \right\}. \quad (6)$$

б) В точке в центре кольца значения напряженности $E(0)$ и потенциала $\varphi(0)$ получаются построй подстановкой $x=0$ в формулы (3) и (6) соответственно: $E(0) = 0$; $\varphi(0) = \frac{\sigma \cdot (R_2 - R_1)}{2\varepsilon_0}$.

Для точек на оси ОХ, далеко расположенных от кольца ($|x| \gg R_2$), выражения для $E(x)$ и $\varphi(x)$ могут быть получены в результате разложения формул (3) и (6) по малым параметрам $\frac{R_2}{x}$ и $\frac{R_1}{x}$ (стремящимся к нулю) в ряд. В этих преобразованиях ввиду малости $\frac{R_2}{x}$ и $\frac{R_1}{x}$ можно ограничиться первыми членами ряда. Окончательно имеем:

$$E(x) = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot x \left\{ \frac{1}{(R_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{1}{(R_2^2 + x^2)^{1/2}} \right\} = \frac{\sigma \cdot x}{2\varepsilon_0 \cdot x} \left\{ \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{R_1}{x}\right)^2\right)^{1/2}} - \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{R_2}{x}\right)^2\right)^{1/2}} \right\} =$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_1}{x}\right)^2 - 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_2}{x}\right)^2 \right\} = \frac{\sigma(R_2^2 - R_1^2)}{4\varepsilon_0 \cdot x^2}. \quad (7)$$

$$\varphi(x) = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \left\{ (R_2^2 + x^2)^{1/2} - (R_1^2 + x^2)^{1/2} \right\} = \frac{\sigma \cdot x}{2\varepsilon_0} \left\{ \left(1 + \left(\frac{R_2}{x}\right)^2\right)^{1/2} - \left(1 + \left(\frac{R_1}{x}\right)^2\right)^{1/2} \right\} =$$

$$= \frac{\sigma \cdot x}{2\varepsilon_0} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{R_2^2}{x^2} - 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{R_1^2}{x^2} \right\} = \frac{\sigma(R_2^2 - R_1^2)}{4\varepsilon_0 \cdot |x|}. \quad (8)$$

Вид формул (7) и (8) согласуется с представлением, что на больших расстояниях электростатическое поле заряженного кольца должно совпадать с полем точечного заряда такой же величины.

Ответ: а) $E(x) = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot x \left\{ \frac{1}{(R_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{1}{(R_2^2 + x^2)^{1/2}} \right\};$

$$\varphi(x) = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \left\{ (R_2^2 + x^2)^{1/2} - (R_1^2 + x^2)^{1/2} \right\}$$

$$\text{б) } E(0) = 0; \varphi(0) = \frac{\sigma(R_2 - R_1)}{2\varepsilon_0};$$

$$E(x) = \frac{\sigma \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{4\varepsilon_0 \cdot x^2} \text{ при } |x| \gg R_2;$$

$$\varphi(x) = \frac{\sigma(R_2^2 - R_1^2)}{4\varepsilon_0 \cdot |x|} \text{ при } |x| \gg R_2$$

23. Заряд шарового слоя с внутренним радиусом R_1 , внешним радиусом R_2 распределен с объемной плотностью ρ по закону $\rho = \frac{\alpha}{r^2}$.

Найти: а) величину заряда Q шарового слоя;

б) зависимость напряженности электростатического поля $\vec{E}(r)$ и потенциал $\varphi(r)$ от расстояния r от центра шарового слоя до рассматриваемой точки пространства.

Дано:

$$R_1 < R_2$$

$$\rho = \frac{\alpha}{r^2}$$

а) Q - ?

б) $\vec{E}(r)$ - ?

$\varphi(r)$ - ?

Решение:

а) Из условия задачи следует, что распределение заряда в пространстве обладает сферической симметрией. Поэтому и электрическое поле сферически симметрично, т.е. напряженность электрического поля $\vec{E}(r)$ и потенциал $\varphi(r)$ зависят только от расстояния до центра симметрии точки O . Силовые линии направлены по радиальным прямым, эквипотенциальные поверхности - сферы.

Для определения величины заряда Q шарового слоя выделим шаровой слой радиусом r бесконечно малой толщины dr , как показано на рис.1.

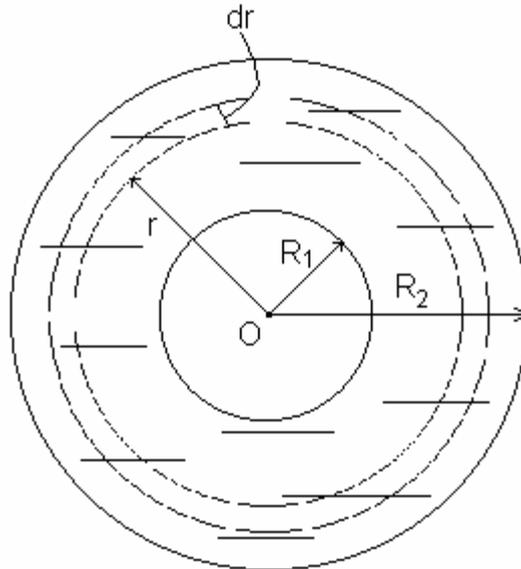


Рис. 1

Объем бесконечно тонкого шарового слоя dV равен $dV = 4\pi r^2 \cdot dr$. Ввиду сферической симметрии и бесконечно малой толщины dr плотность заряда $\rho(r) = \frac{\alpha}{r^2}$ в этом шаровом слое можно считать постоянной. Поэтому заряд бесконечно тонкого шарового слоя dQ равен:

$$dQ = \rho(r) \cdot dV = \frac{\alpha}{r^2} \cdot 4\pi r^2 \cdot dr = 4\pi\alpha dr . \quad (1)$$

Величину полного заряда Q шарового слоя получим интегрированием выражения (1):

$$Q = \int_{R_1}^{R_2} dQ = \int_{R_1}^{R_2} 4\pi\alpha \cdot dr = 4\pi \cdot \alpha \cdot (R_2 - R_1) . \quad (2)$$

б) Для определения напряженности электрического поля $E(r)$ (вектор \vec{E} направлен по радиальным прямым или против, в зависимости от знака коэффициента α и потенциала $\varphi(r)$ будем опираться на теорему Гаусса и формулу, связывающую напряженность и потенциал в случае сферической симметрии:

$$E(r) = -\frac{d\varphi(r)}{dr} . \quad (3)$$

Используя форму шарового слоя, разобьем все пространство на три области и проведем гауссовы поверхности (пунктирные линии), как показано на рис.2.

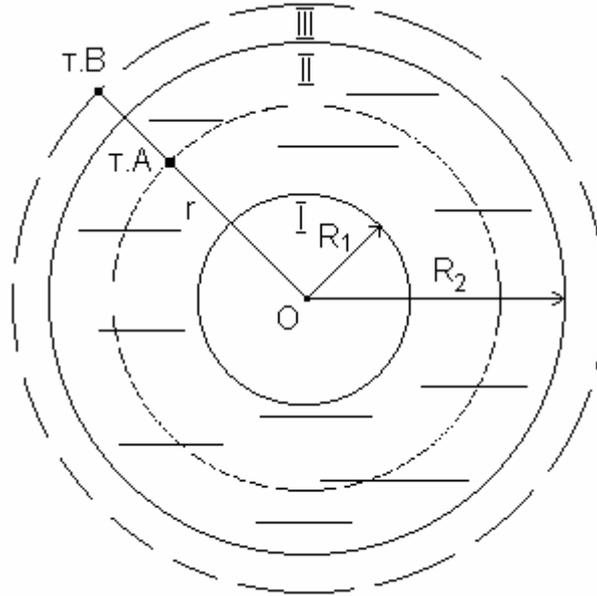


Рис.2

В области I при $0 \leq r < R_1$ нет зарядов. Поэтому из теоремы Гаусса следует, что напряжённость электростатического поля равна: $E_1 = 0$. Из выражения (3) для потенциала φ_1 в этой области получим:

$$\varphi_1 = C_1, \quad (4)$$

где C_1 – постоянная величина.

В области II при $R_1 \leq r < R_2$ на гауссовой поверхности (пунктирная линия) во всех точках напряжённость $E(r)$ – величина постоянная и вектор напряжённости $\vec{E}(r)$ направлен перпендикулярно к поверхности. Поэтому поток напряженности $\vec{E}(r)$ через гауссову поверхность равен: $E(r) \cdot 4\pi r^2$. Заряд внутри гауссовой поверхности $g(r)$ может быть найден по формуле аналогично формуле (2), но с другими пределами интегрирования. Исходя, из этих соображений, по теореме Гаусса имеем:

$$E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{g(r)}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \int_{R_1}^r dQ = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \int_{R_1}^r 4\pi\alpha \cdot dr = \frac{4\pi\alpha}{\varepsilon_0} \cdot (r - R_1). \quad (5)$$

Из выражения (5) для напряженности в области II получим:

$$E_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{R_1}{r^2} \right). \quad (6)$$

Из уравнения (3) и соотношения (6) для потенциала в области II получим:

$$\varphi_2 = -\int E_2 \cdot dr = -\int \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{R_1}{r^2} \right) \cdot dr = -\frac{\alpha}{\varepsilon_0} \ln r - \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \cdot \frac{R_1}{r} + C_2, \quad (7)$$

где C_2 – постоянная величина.

В области III при $R_2 \leq r < \infty$ внутри гауссовой поверхности (пунктирная линия) сосредоточен весь заряд Q . Теорема Гаусса в применении к этой поверхности имеет вид:

$$E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0} = \frac{4\pi\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0}. \quad (8)$$

Из выражения (8) для напряженности в области III следует:

$$E_3 = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r^2}. \quad (9)$$

Из уравнения (3) и соотношения (9) для потенциала в области III получим:

$$\varphi_3 = -\int E_3 \cdot dr = -\int \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r^2} dr = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r} + C_3, \quad (10)$$

где C_3 – постоянная величина.

Значение констант C_1, C_2, C_3 можно получить из условий:

- 1) при $r \rightarrow \infty$ $\varphi_3 \rightarrow 0$;
- 2) при $r = R_2$ $\varphi_3(R_2) = \varphi_2(R_2)$;
- 3) при $r = R_1$ $\varphi_2(R_1) = \varphi_1(R_1)$;

Подставляя в условия “1”, “2”, “3” выражения для потенциалов (4), (7), (10), получим: $C_3 = 0$; $C_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \cdot (1 + \ln R_2)$; $C_1 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}$.

Таким образом, в области I: $E_1 = 0$, $\varphi_1 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}$; в области II:

$$E_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{R_1}{r^2} \right), \quad \varphi_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(1 - \frac{R_1}{r} - \ln \frac{r}{R_2} \right); \quad \text{в области III: } E_3 = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r^2},$$

$$\varphi_3 = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r}$$

Ответ: а) $Q = 4\pi \cdot \alpha \cdot (R_2 - R_1)$; б) $E_1 = 0$, $\varphi_1 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}$, при $0 \leq r < R_1$;

$$E_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{R_1}{r^2} \right), \quad \varphi_2 = \frac{\alpha}{\varepsilon_0} \left(1 - \frac{R_1}{r} - \ln \frac{r}{R_2} \right), \quad \text{при } R_1 \leq r < R_2; \quad E_3 = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r^2},$$

$$\varphi_3 = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{\varepsilon_0 \cdot r} \quad \text{при } R_2 \leq r < \infty.$$

24. Плоская широкая пластина пьезодиэлектрика толщиной $2d$ вследствие неоднородной деформации поляризована так, что модуль вектора поляризации \vec{P} изменяется в направлении, перпендикулярном к

плоскости пластины по закону $P = P_0(1 - \frac{x^2}{d^2})$ (P_0 – модуль вектора поляризации середины пластины), как показано на рисунке. Вектор поляризации всегда направлен вдоль оси ОХ. Найти, пренебрегая краевыми эффектами:

а) объемную плотность связи зарядов $\rho_{св}$ как функцию x ;

б) напряженность электрического поля внутри пластины E_1 и вне пластины E_2 ;

в) разность потенциалов $\Delta\varphi$ между боковыми поверхностями пластин.

Дано:

$$P = P_0(1 - \frac{x^2}{d^2})$$

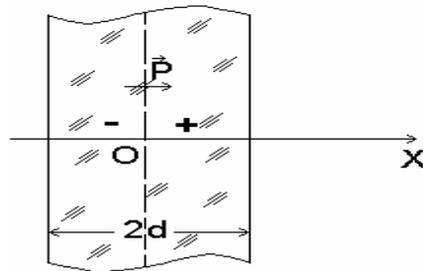
а) $\rho_{св}(x)$ – ?

б) $E_1(x)$ – ?

$E_2(x)$ – ?

в) $\Delta\varphi$ – ?

Решение:



а. У рассматриваемого пьезодиэлектрика наблюдается пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрический эффект заключается в том, что в определенных твердых веществах, пьезоэлектриках при деформировании возникает поляризация даже в отсутствие сторонних зарядов.

В случае пренебрежения краевыми эффектами плотность связанных зарядов, напряженность электрического поля зависят только от координаты x . Как известно, связь между вектором поляризации \vec{P} и объемной плотностью связанных зарядов $\rho_{св}$ выражается соотношением:

$$\text{div}\vec{P} = -\rho_{св}. \quad (1)$$

В случае зависимости только от одной координаты x для $\rho_{св}(x)$ получается:

$$\rho_{св}(x) = -\frac{dP}{dx} = \frac{2P_0}{d^2} \cdot x. \quad (2)$$

б. Как видно из формулы (2), левая часть пластины заряжена отрицательно, а правая – положительно. В пренебрежении краевыми эффектами можно считать, что пластина состоит из бесконечно тонких равномерно заряженных плоскостей, перпендикулярных оси Х, причем одинаково заряженные плоскости, но с зарядом разного знака,

располагаются симметрично относительно плоскости $X=0$. Вне пластины такие заряженные плоскости создают напряженности, равные по модулю, но противоположно направленные. Поэтому напряженность электрического поля вне пластин равна нулю, т.е. $E_2 = 0$.

Плотность сторонних зарядов равна нулю, следовательно, по теореме Гаусса в дифференциальной форме для точек внутри пластин можно записать

$$\operatorname{div} \vec{E}_1 = \frac{\rho_{ce}}{\varepsilon_0}. \quad (3)$$

Из сравнения формул (1) и (3) следует:

$$E_1(x) = -\frac{P(x)}{\varepsilon_0} = -\frac{P_0(1 - \frac{x^2}{d^2})}{\varepsilon_0}. \quad (4)$$

Отрицательное значение $E_1(x)$ показывает, что вектор \vec{E}_1 направлен против оси OX .

в. Опираясь на связь между потенциалом $\varphi(x)$ и напряженностью $E_1(x)$ в данном случае: $E_1(x) = -\frac{d\varphi}{dx}$, для разности потенциалов $\Delta\varphi$ между боковыми поверхностями пластин, получим:

$$\Delta\varphi = -\int_{-d}^d E_1(x) \cdot dx = \int_{-d}^d \frac{P_0}{\varepsilon_0} (1 - \frac{x^2}{d^2}) \cdot dx = \frac{4}{3\varepsilon_0} \cdot P_0 \cdot d$$

Ответ: $\rho_{ce}(x) = \frac{2P_0}{d^2} \cdot x$; $E_1(x) = -\frac{P_0}{\varepsilon_0} \cdot (1 - \frac{x^2}{d^2})$; $E_2 = 0$; $\Delta\varphi = \frac{4}{3\varepsilon_0} \cdot P_0 \cdot d$

25. Пластины из стекла с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 7$, толщиной $d = 2$ мм, площадью $S = 300$ см² поместили в однородное электрическое поле с напряженностью $E_0 = 1$ кВ/м перпендикулярно силовым линиям.

Найти:

- плотность связанных зарядов σ_{ce} на поверхности пластины,
- энергию электрического поля W в области пластин.

Дано:

$$\varepsilon = 7$$

$$d = 2 \text{ мм}$$

$$S = 300 \text{ см}^2$$

$$E_0 = 1 \text{ кВ/м}$$

Решение:

Как известно, поверхностная плотность связанных зарядов σ_{ce} определяется нормальной составляющей вектора поляризации P_n на поверхности диэлектрика

а) $\sigma_{св}$ -?	простым соотношением:
б) W -?	$\sigma_{св} = P_n.$ (1)
В силу симметрии задачи и однородности диэлектрика направление силовых линий внешнего электрического поля \vec{E}_0 , электрического поля	

внутри диэлектрика \vec{E} , направление вектора поляризации \vec{P} совпадают. Поэтому выполняются известные соотношения для модулей векторов E_0 , E , и P

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon}. \quad (2)$$

$$P = |P_n| = (\varepsilon - 1) \cdot \varepsilon_0 E. \quad (3)$$

Из формул (1) – (3) для поверхностной плотности заряда на поверхности пластины, из которой силовые линии выходят, получим:

$$\sigma_{св} = \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon} \cdot \varepsilon_0 \cdot E_0 = \frac{6}{7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^3 = 7,6 \text{ н Кл/м}^2.$$

Объемная плотность энергии электрического поля ω определяется выражением:

$$\omega = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2}{2}. \quad (4)$$

Следовательно, в объеме V прямоугольной пластины сосредоточена энергия W :

$$W = \omega \cdot V = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2}{2} \cdot S \cdot d = \frac{0,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{2} \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 38 \text{ пДж}.$$

Ответ: $\sigma_{св} = 7,6 \text{ н Кл/м}$; $W = 38 \text{ пДж}$.

ЗАДАЧИ

3.1. Шар радиусом R заряжен однородно с объёмной плотностью ρ . Найти напряженность поля \vec{E} для точек внутри и вне шара.

$$\left(\vec{E} = \frac{\rho \cdot r}{3\varepsilon_0} \vec{e}_r; \vec{E} = \frac{\rho \cdot R^3}{3\varepsilon_0 r^2} \vec{e}_r \right).$$

3.2. Бесконечно тонкая прямая нить заряжена однородно с плотностью λ . Найти напряженность электрического поля E и потенциал φ как функции расстояния r от нити. Потенциал на расстоянии r_0 положить равным 0.

$$(E = (1/2\pi\varepsilon_0) \cdot \lambda/r; \varphi = -(\lambda/2\pi\varepsilon_0) \cdot \ln(r/r_0)).$$

3.3. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau=1,5$ нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии $d=12$ см от его конца находится точечный заряд $Q=0,2$ мкКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

$$(F=2,25 \text{ мН}).$$

3.4. По тонкому проволочному кольцу радиусом $r=60$ мм, равномерно распределен заряд $q=20$ нКл.

а) приняв ось кольца за ось x , найти потенциал φ и напряженность поля \vec{E} на оси кольца как функцию x (начало отсчета x поместить в центр кольца);

б) исследовать случаи $x=0$ и $|x| \gg r$.

$$(E=(1/4\pi\epsilon_0) \cdot \frac{q \cdot x}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \vec{e}_x; \varphi=(1/4\pi\epsilon_0) \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2+x^2}}).$$

3.5. Чему равен поток вектора E через поверхность сферы, внутри объема которой находится:

а) заряд e ;

б) заряд $-e$;

в) диполь с моментом pe .

Объясните результат с помощью картины силовых линий электрического поля.

3.6. Металлический шар радиусом R помещен в однородное электрическое поле. Изобразите качественную картину силовых и эквипотенциальных линий электрического поля.

3.7. Два точечных заряда $+e$ и $-e$ расположены в точках с координатами $(a/2,0,0)$, $(-a/2,0,0)$. Построить качественно график зависимости проекции напряженности поля $E_x(x)$ для точек, лежащих:

а) на оси x ($y=0$);

б) $y=2a$.

3.8. Какая сила будет действовать на свободный диполь, электрический момент которого $p_e=0,5 \cdot 10^{-10}$ Кл·м, если он расположен на расстоянии $a=0,3$ м от точечного заряда $q=10^{-5}$ Кл? Считать плечо диполя значительно меньше расстояния a .

$$(0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Н}).$$

3.9. Потенциал поля, создаваемого некоторой системой зарядов, имеет вид: $\varphi = a(x^2 + y^2) - bz^2$, где a и b - положительные константы. Найти напряженность поля \vec{E} и ее модуль $|\vec{E}|$. Построить графики зависимости $E_x = f(x)$, $E_z = f(z)$.

$$(E = 2\sqrt{a^2(x^2 + y^2) + (bz)^2}; \vec{E} = -2a\vec{e}_x - 2ay\vec{e}_y + 2bz\vec{e}_z).$$

3.10. Плоский воздушный конденсатор подключили к батарее, а затем отключили от неё. После этого сдвинули пластины конденсатора, уменьшив расстояние между пластинами в 2 раза. Как изменится:

- энергия, запасенная конденсатором;
- заряд на обкладках конденсатора;
- плотность энергии электрического поля конденсатора?

3.11. Диэлектрическая пластина шириной $2a$ с проницаемостью $\varepsilon = 2$ помещена в однородное электрическое поле напряженности E , силовые линии которого перпендикулярны пластине:

Изобразите на рисунке линии полей E и D электрического поля,

Постройте качественно графики зависимостей E_x , D_x от x (ось x перпендикулярна пластине, вектор E направлен вдоль оси x , точка $x=0$ находится в середине пластины).

3.12. Диэлектрическая пластина с проницаемостью $\varepsilon = 2$ помещена в однородное электрическое поле с напряженностью E . Линии поля E образуют некоторый угол φ с поверхностью пластины. Изобразите качественно линии полей E и D в вакууме и в пластине. Постройте качественно графики зависимостей $E_x = f(x)$ и $D = f(x)$.

3.13. Внутри плоской однородной диэлектрической пластины с $\varepsilon = 3$ вектор напряженности однородного электрического поля составляет угол φ с поверхностью пластины. Считая, что с одной стороны пластины вакуум, а с другой стороны диэлектрик с $\varepsilon = 2$, изобразить качественно линии E и D электрического поля в трех указанных средах. Построить качественно зависимости $E_x = f(x)$ и $D_x = f(x)$. Ось Ox перпендикулярна поверхностям пластины, а ее толщина d .

3.14. Плоский воздушный конденсатор опустили в воду так, что поверхность воды параллельна плоскостям пластин, а ее уровень расположен на расстоянии h от нижней пластины. Найти зависимость емкости конденсатора от величины h , если площадь пластины S , а расстояние между ними d .

$$(C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\varepsilon \cdot d - h(\varepsilon - 1)}).$$

3.15. Электрическое поле создается равномерно заряженным шаром радиусом R с объемной плотностью заряда ρ . Определить зависимость вектора электрического смещения электрического поля от r . Построить качественно график $D(r) = f(r)$.

$$(D = (1/3)\rho r; D = (\rho/3) \cdot (R^3/r^2)).$$

Постоянный ток

Примеры решения задач

26. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено многослойным диэлектриком, обладающим слабой электропроводностью. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика ε монотонно уменьшается от пластины 1 от значения $\varepsilon_1 = 4$ до значения $\varepsilon_2 = 3$ у пластины 2. Удельная электропроводность σ монотонно уменьшается от пластины 1 от значения $\sigma_1 = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ до значения $\sigma_2 = 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ у пластины 2. Конденсатор включен в цепь с постоянной ЭДС, и в нем устанавливается постоянный электрический ток силой $J = 1 \cdot 10^{-7} \text{ А}$, текущий через диэлектрик от стороны 1 конденсатора к стороне 2. Найти величину свободного заряда Q , возникшего в диэлектрике при протекании тока.

Дано:

$$\varepsilon_1 = 4$$

$$\varepsilon_2 = 3$$

$$\sigma_1 = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$\sigma_2 = 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$J = 1 \cdot 10^{-7} \text{ А}$$

Решение:

Среда между пластинами конденсатора обладает как электропроводящими, так и диэлектрическими свойствами. Поэтому в решении используется закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

Q – ?

(где \vec{J} – плотность тока, \vec{E} – напряженность электрического поля) и теорема Гаусса для диэлектрика. Направление линий тока вектора \vec{J} и направления

векторов электрического смещения \vec{D}_1 и \vec{D}_2 у пластины 1 и пластины 2 соответственно показаны на рисунке.

Ток через среду постоянный, линии тока перпендикулярны к пластинам конденсатора, следовательно, для величин силы тока у пластины 1 и пластины 2 можно записать: $J = j_1 \cdot S_0 = j_2 \cdot S_0$ (S_0 – площадь пластины конденсатора.) Это же соотношение с учетом закона Ома (1) принимает форму:

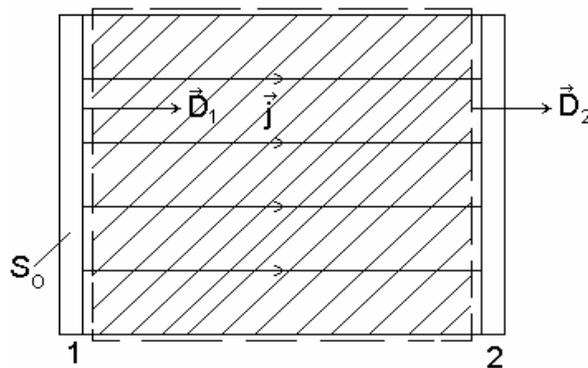
$$J = \sigma_1 \cdot E_1 \cdot S_0 = \sigma_2 \cdot E_2 \cdot S_0. \quad (2)$$

Для использования теоремы Гаусса проведем гауссову поверхность в виде прямоугольного параллелепипеда (пунктирная линия на рисунке), так чтобы внутри находился диэлектрик. По теореме Гаусса для диэлектрика, учитывая направление векторов \vec{D} , имеем:

$$Q = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = D_2 \cdot S_0 - D_1 \cdot S_0. \quad (3)$$

Связь между вектором электрического смещения \vec{D} и напряженностью \vec{E} электрического поля, как известно, имеет вид:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}. \quad (4)$$



Из соотношении (2) – (4) для величины заряда Q следует:

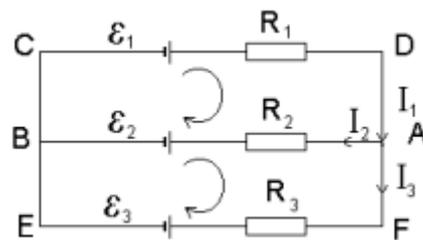
$$\begin{aligned} Q &= D_2 \cdot S_0 - D_1 \cdot S_0 = \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot E_2 \cdot S_0 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot E_1 \cdot S_0 = \left(\frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot J}{\sigma_2} - \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot J}{\sigma_1} \right) = J \cdot \varepsilon_0 \left(\frac{\varepsilon_2}{\sigma_2} - \frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} \right) = \\ &= 1 \cdot 10^{-7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{3}{1 \cdot 10^{-10}} - \frac{4}{1 \cdot 10^{-7}} \right) = 27 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.} \end{aligned}$$

Ответ: $Q = 27 \text{ н Кл.}$

27. В схеме, изображенной на рисунке, $\varepsilon_1 = 11\text{В}$, $\varepsilon_2 = 4\text{В}$, $\varepsilon_3 = 6\text{В}$, $R_1 = 5\text{Ом}$, $R_2 = 10\text{Ом}$, $R_3 = 2\text{Ом}$. Внутреннее сопротивление источников тока пренебрежимо мало. Определить силы токов I_1 , I_2 , I_3 , текущих через сопротивления.

Дано:
 $\varepsilon_1 = 11\text{В}$
 $\varepsilon_2 = 4\text{В}$
 $\varepsilon_3 = 6\text{В}$
 $R_1 = 5\text{Ом}$
 $R_2 = 10\text{Ом}$
 $R_3 = 2\text{Ом}$

Решение:



Представленная в задаче схема постоянного тока может быть рассчитана на основе законов Кирхгофа. Для применения законов Кирхгофа выделим два замкнутых контура ABCD и AFEB.

Зададим направление обхода этих замкнутых контуров по часовой стрелке, как показано на рисунке. Также будем рассматривать узел схемы А, в котором сходятся (или вытекают) токи I_1 , I_2 , I_3 .

По первому закону Кирхгофа для токов узла А следует уравнение:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (1)$$

В данном выражении учитывалось правило знаков: ток втекающий в узел – положителен, ток вытекающий из узла – отрицателен.

По второму закону Кирхгофа для контуров ABCD и AFEB имеем соответственно: $I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$.

(2)

$$-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_2 - \varepsilon_3. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) учитывалось правило знаков, определяемое выбранным направлением обхода контура.

Подставляя известные численные значения сопротивлений участков цепи и ЭДС источников тока в уравнения (1) – (3), получим:

$$\begin{cases} 1 \cdot I_1 - 1 \cdot I_2 - 1 \cdot I_3 = 0 \\ 5 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 + 0 \cdot I_3 = 7 \\ 0 \cdot I_1 - 10 \cdot I_2 + 2 \cdot I_3 = -2 \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, получается система трех линейных уравнений с тремя искомыми неизвестными I_1, I_2, I_3 . Решение такой системы дается формулами Крамера: $I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}$, (5)

где Δ – определитель системы (4), Δ_1 – определитель при первом неизвестном I_1 , Δ_2 – определитель при втором неизвестном I_2 , Δ_3 – определитель при третьем неизвестном I_3 .

По значениям коэффициентов системы уравнений (4) следует:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 5 & 10 & 0 \\ 0 & -10 & 2 \end{vmatrix} = 80 \quad (6), \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 7 & 10 & 0 \\ -2 & -10 & 2 \end{vmatrix} = 64 \quad (7)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 5 & 7 & 0 \\ 0 & -2 & 2 \end{vmatrix} = 24 \quad (8), \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 5 & 10 & 7 \\ 0 & -10 & -2 \end{vmatrix} = 40 \quad (9)$$

Из выражений (5) – (9) для величин сил токов получается:

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{64}{80} = 0,8 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{24}{80} = 0,3 \text{ A}, \quad I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{40}{80} = 0,5 \text{ A}.$$

Ответ: $I_1 = 0,8 \text{ A}, I_2 = 0,3 \text{ A}, I_3 = 0,5 \text{ A}$.

28. Сила тока в проводнике убывает со временем по закону $I = I_0 \ell^{-\alpha t}$ ($I_0 = 20 \text{ A}, \alpha = 10^2 \text{ c}^{-1}$). Определить заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время $\tau = 10^{-2} \text{ c}$.

Дано:	Решение:
$I = I_0 \ell^{-\alpha t}$	Величина силы тока I связана с зарядом g , проходящим через поперечное сечение проводника, соотношением: $I = \frac{dg}{dt}$. (1) Следовательно, за бесконечно малый промежуток времени dt через поперечное сечение проводника пройдет заряд
$I_0 = 20 \text{ A}$	
$\alpha = 10^2 \text{ c}^{-1}$	
$\tau = 10^{-2} \text{ c}$	
$g = ?$	

$$dg = I \cdot dt = I_0 \cdot \ell^{-\alpha t} \cdot dt. \quad (2)$$

Величина заряда g , прошедшего через поперечное сечение проводника за промежуток времени τ , может быть найдена интегрированием выражения (2):

$$g = \int_0^{\tau} I_0 \cdot \ell^{-\alpha t} dt = \frac{I_0}{\alpha} (1 - \ell^{-\alpha \tau}) = \frac{20}{100} (1 - \frac{1}{\ell}) = 0,13 \text{ Кл}.$$

Ответ: $g = 0,13 \text{ Кл}$.

29. В медном проводнике объемом $V_0 = 6 \text{ см}^3$ при прохождении по нему постоянного тока за время $\tau = 1 \text{ мин}$ выделилось количество теплоты $Q = 216 \text{ Дж}$. Найти напряжённость E электрического поля в проводнике, плотность тока j , скорость упорядоченного движения электронов u . Считать, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон.

Дано:

$$V_0 = 6 \text{ см}^3$$

$$\tau = 1 \text{ мин}$$

$$Q = 216 \text{ Дж}$$

$$\sigma = 5,8 \cdot 10^7$$

$$\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu = 63,5 \text{ г/моль}$$

а) E – ?

б) j – ?

в) u – ?

Решение:

а. Для решения используем закон Ома в дифференциальной форме :

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (1)$$

закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{j^2}{\sigma}, \quad (2)$$

где σ – удельная электропроводность меди,

$Q_{\text{уд}} = \frac{Q}{V_0 \cdot \tau}$ – удельная тепловая мощность тока. Из

формул (1) и (2) для напряженности E электрического поля в проводнике следует:

$$E = \left(\frac{Q_{\text{уд}}}{\sigma} \right)^{1/2} = \left(\frac{Q}{V_0 \cdot \tau \cdot \sigma} \right)^{1/2} = \left(\frac{216}{6 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 5,8 \cdot 10^7} \right)^{1/2} = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ В/м}$$

б. Из выражения (1) для плотности тока j имеем:

$$j = \sigma E = 5,8 \cdot 10^7 \cdot 1,0 \cdot 10^{-1} = 5,8 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}.$$

в. Скорость упорядоченного движения электронов \vec{u} и плотность тока \vec{j} связаны соотношением:

$$\vec{j} = \ell_0 \cdot n \cdot \vec{u}, \quad (3)$$

где ℓ_0 – заряд электрона, n – концентрация свободных электронов.

Учитывая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон для концентрации свободных электронов, получается:

$$n = \frac{\rho}{\mu} \cdot N_A, \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро.

Из формул (3) и (4) для скорости упорядоченного движения электронов следует:

$$u = \frac{j}{|\ell_0| \cdot n} = \frac{j \cdot \mu}{|\ell_0| \cdot N_A \cdot \rho} = \frac{5,8 \cdot 10^6 \cdot 63,5 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,9 \cdot 10^3} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

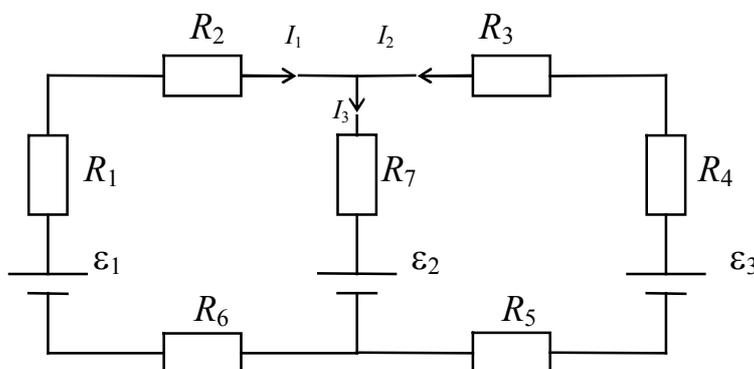
Ответ: а) $E = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ В/м}$, б) $j = 5,8 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$, в) $u = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$.

ЗАДАЧИ

3.16. Зазор между обкладками плоского конденсатора заполнен веществом с проницаемостью $\varepsilon=7$ и удельным сопротивлением $\rho=100$ ГОм·м. Емкость конденсатора $C=3000$ пФ. Найти силу тока утечки через конденсатор при подаче на него напряжения $U=2000$ В.

$$(I=9,7 \cdot 10^{-7} \text{ А}).$$

3.17. В схеме, изображенной на рисунке, $\varepsilon_1=10$ В, $\varepsilon_2=20$ В, $\varepsilon_3=30$ В, $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=3$ Ом, $R_4=4$ Ом, $R_5=5$ Ом, $R_6=6$ Ом, $R_7=7$ Ом. Внутреннее сопротивление источников тока пренебрежимо мало. Найти



силы токов I_1, I_2, I_3 .

$$(I_1=-1,02 \text{ А}, I_2=0,90 \text{ А}, I_3=-0,12 \text{ А}).$$

3.18. Определить заряд Q , прошедший по проводу с сопротивлением $R=3$ Ом, при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_0=2$ В до $U=4$ В в течение 20 с.

$$(Q=20 \text{ Кл}).$$

3.19. Сила тока в проводнике сопротивлением 20 Ом нарастает в течение времени $\Delta t=2$ с по линейному закону от $I_0=0$ до $I_{\max}=6$ А. Определить количество теплоты Q , выделившееся в этом проводнике за первую секунду.

$$(Q=60 \text{ Дж}).$$

3.20. Концентрация электронов проводимости в меди $n=10^{29}$ м⁻³. Считая условия нормальными, определить среднее время между двумя

столкновениями электрона с решеткой (среднее время свободного пробега). Определить среднюю длину свободного пробега электрона. Удельное сопротивление меди $\rho=1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

$$(\tau = 4,2 \cdot 10^{-14} \text{ с}; \lambda = 4,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}).$$

3.21. По медному проводнику сечением $0,2 \text{ мм}^2$ течет ток. Определить, какая сила действует на отдельный электрон проводимости со стороны электрического поля, если объемная плотность энергии, выделяемая в проводнике, равна $9 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^3$. Определить плотность тока и силу тока в проводнике.

$$(F = 19,8 \cdot 10^{-22} \text{ Н}; j = 7,3 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2; I = 0,15 \text{ А}).$$

3.22. Коэффициент теплопроводности материала некоторого проводника при нормальных условиях равен 390 Вт/(м·град) . Этот проводник толщиной 2 мм^2 включен в электрическую цепь, и в нем установился ток $I=4 \text{ А}$. Определить напряженность электрического поля в этом проводнике и разность потенциалов на расстоянии 1 м по длине проводника. Площадь поперечного сечения проводника 2 мм^2 .

$$(E = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}; \Delta\varphi = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ В}).$$

Магнетизм

Примеры решения задач

30. Бесконечно длинный прямой проводник согнут под прямым углом как показано на рис. 1. По проводнику течет ток $I = 10 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию \vec{B} в точках М и N, если $a = 5 \text{ см}$.

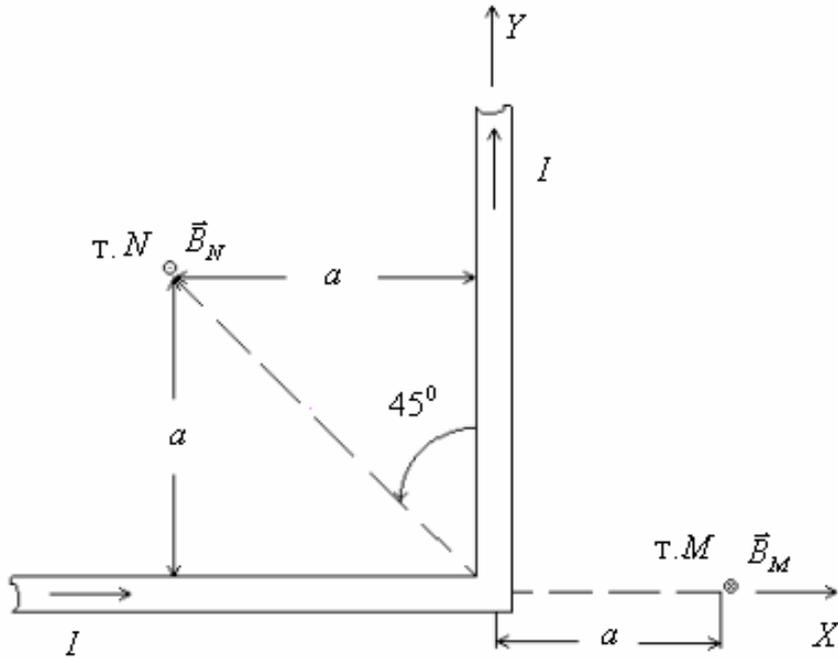


Рис.1

<p>Дано: $I = 10$ A $a = 5$ см</p>	<p>Решение: Величина магнитной индукции \vec{B} в точках М и N может быть найдена по принципу суперпозиции:</p> $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2, \quad (1)$ <p>где \vec{B}_1 – магнитная индукция от полубесконечной части проводника, лежащей вдоль оси X, \vec{B}_2 – магнитная индукция от полубесконечной части проводника, лежащей вдоль оси Y.</p>
<p>а) \vec{B}_M – ? б) \vec{B}_N – ?</p>	

Модуль вектора магнитной индукции может быть рассчитан на основе закона Био–Савара–Лапласа. Нас интересует и будет использоваться результат расчета для прямолинейного отрезка проводника, представленного на рисунке 2.

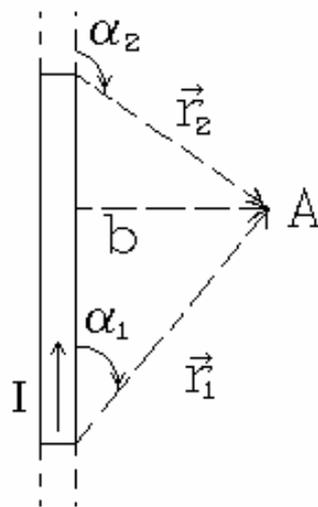


Рис.2

Модуль вектора магнитной индукции в точке А (рис.2) на расстоянии b от отрезка проводника выражается формулой:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, α_1 и α_2 – углы между направлениями тока и направлениями радиус-векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 – начала и конец отрезка (см. рис.2).

В точке М вклад в величину магнитной индукции от полубесконечной части проводника, лежащей вдоль оси X, равен нулю. Вклад в величину магнитной индукции от полубесконечной части проводника, лежащей вдоль оси Y, характеризуется углами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$ и $\alpha_2 = \pi$. Поэтому, как это следует из формул (1) и (2), модуль вектора магнитной индукции B_M в точке М равен:

$$B_M = B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot a} \cdot (\cos \frac{\pi}{2} - \cos \pi) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^{-5} = 20 \text{ мкТл.}$$

Направление вектора \vec{B}_M определяется правилом правого винта и показано на рис. 1.

В точке N, как это следует из правила правого винта, векторы \vec{B}_1 и \vec{B}_2 направлены вдоль одной линии перпендикулярно плоскости рисунка. Поэтому модуль вектора магнитной индукции в точке N равен сумме модулей векторов B_1 и B_2 . Для величины магнитной индукции B_1 , как

следует из рис.1, угол α_1 равен нулю, а угол $\alpha_2 = \frac{3\pi}{4}$. Для величины магнитной индукции B_2 , как следует из рис.1, угол $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$, а угол $\alpha_2 = \pi$. Поэтому, как это следует из формул (1) и (2), модуль вектора магнитной индукции B_N в точке N равен:

$$B_N = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot a} (\cos 0^\circ - \cos \frac{3\pi}{4}) + \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot a} (\cos \frac{\pi}{4} - \cos \pi) = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot a} \cdot (1 + \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} + 1) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \cdot (2 + \sqrt{2}) = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} = 68 \text{ мкТл}.$$

Направление вектора \vec{B}_N определяется правилом правого винта и показано на рис.1.

Ответ: а) $B_M = 20 \text{ мкТл}$; б) $B_N = 68 \text{ мкТл}$.

31. Тонкое кольцо радиусом $r = 10 \text{ см}$ заряжено равномерно с линейной плотностью заряда $\tau = 16 \text{ нКл/м}$. Кольцо вращается с частотой $n = 10 \text{ об/с}$ относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Определить магнитный момент \vec{P}_m , обусловленный вращением кольца.

Дано:
 $r = 10 \text{ см}$
 $\tau = 16 \text{ нКл/м}$
 $n = 10 \text{ об/с}$

Решение:

Вращение заряженного кольца представляет собой круговой ток. Круговой ток создает в пространстве магнитный момент, величина модуля которого определяется выражением:

$\vec{P}_m - ?$

$$P_m = I \cdot S, \quad (1)$$

где I – сила кругового тока, S – площадь контура (кольца). Сила тока кругового тока характеризуется количеством заряда пересекающего площадку, перпендикулярную линии кольца в единицу времени. Поэтому для силы тока получается:

$$I = g \cdot n, \quad (2)$$

где $g = \tau \cdot 2\pi r$ – заряд кольца.

Из выражений (1) и (2) для величины модуля магнитного момента следует:

$$P_m = I \cdot S = \tau \cdot 2\pi \cdot r \cdot n \cdot \pi \cdot r^2 = \tau \cdot 2\pi \cdot r^3 \cdot n = 16 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 9,87 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 3,16 \frac{\text{нА}}{\text{м}^2}.$$

Направление вектора \vec{P}_m определяется правилом правого винта. Поэтому, вектор \vec{P}_m направлен по оси кольца и его направление совпадает с направлением вектора угловой скорости вращения кольца.

Ответ: $P_m = 3,16 \frac{нА}{м^2}$.

32. Длинный прямой соленоид с сердечником намотан из проволоки диаметром $d = 0,5$ мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Найти напряженность магнитного поля и индукцию магнитного поля внутри соленоида при силе тока $I = 4$ А. Магнитную проницаемость μ сердечника соленоида при данной силе тока принять равной 800.

Дано:	Решение:
$d = 0,5$ мм	Для длинного прямого соленоида можно пренебречь краевыми эффектами, и модуль напряженности H внутри соленоида определяется формулой:
$I = 4$ А	
$\mu = 800$	
а) $H - ?$	$H = n \cdot I,$ (1)
б) $B - ?$	

где n – число витков соленоида, приходящееся на единицу его длины. Так как витки плотно прилегают друг к другу, то их число на единицу длины равно $n = \frac{1}{d}$.

Из формул (1) и (2) для модуля напряженности H имеем:

$$H = n \cdot I = \frac{I}{d} = \frac{4}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^3 \text{ А/м.}$$

Вектор \vec{H} направлен параллельно оси соленоида.

Как известно, вектор магнитной индукции \vec{B} связан с вектором напряженности магнитного поля \vec{H} соотношением: $\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H}$

Из условия задачи и выражения (3) для магнитной индукции внутри соленоида получим: $B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 800 \cdot 8 \cdot 10^3 = 8,0$ Тл

Вектор \vec{B} направлен параллельно оси соленоида.

Ответ: а) $H = 8 \cdot 10^3$ А/м; б) $B = 8,0$ Тл.

33. Тороид с сердечником, длина которого по средней линии $l = 1$ м, имеет воздушный зазор ширины $b = 4$ мм. Обмотка тора равномерно распределена по всей его длине с числом витков на единицу длины $n = 8$ см⁻¹. Найти силу тока I в обмотке, при которой магнитная индукция в зазоре будет равна $B = 1,0$ Тл. Магнитную проницаемость μ сердечника тороида при данной силе тока принять равной 800.

Дано:	Решение:
$l = 1$ м	По теореме о циркуляции вектора напряженности
$b = 4$ мм	

$$\left. \begin{array}{l} n = 8 \text{ см}^{-1} \\ B = 1,0 \text{ Тл} \\ \mu = 800 \end{array} \right| \text{ магнитного поля } \vec{H} \text{ можно записать: } \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^N I_i, \quad (1)$$

где I_i - макроскопические точки, охватываемые контуром L . Для тороида по средней линии левая часть формулы (1) принимает вид:

$$\left. I - ? \right| \oint_L \vec{H} d\vec{l} = H \cdot l + H_0 \cdot b, \quad (2)$$

где H - напряженность магнитного поля в сердечнике, H_0 - напряженность магнитного поля в воздушном зазоре. Правая часть выражения (1) в случае тороида с обмоткой принимает форму:

$$\sum_{i=1}^N I_i = N \cdot I = n \cdot l \cdot I, \quad (3)$$

где N - число витков всей обмотки тора.

Величины напряженностей магнитного поля H и H_0 в случае пренебрежения рассеянием магнитного потока связаны с магнитной индукцией B известными соотношениями:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}. \quad (4)$$

$$H_0 = \frac{B}{\mu_0}. \quad (5)$$

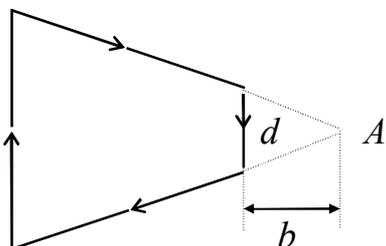
Приравнивая выражения (2) и (3) с использованием формул (4) и (5), для силы тока I получим:

$$I = \frac{H \cdot l + H_0 \cdot b}{n \cdot l} = \frac{B}{\mu_0 \cdot n \cdot l} \left(\frac{l}{\mu} + b \right) = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8 \cdot 10^2 \cdot 1} \left(\frac{1}{800} + 4 \cdot 10^{-3} \right) = 5,2 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 5,2 \text{ А.}$

ЗАДАЧИ

3.23. Ток силы $I=1 \text{ А}$ циркулирует в контуре, имеющем форму равнобокой трапеции. Отношение оснований трапеции $\eta=2 : 1$. Найти магнитную индукцию \vec{B} в точке A , лежащей в плоскости трапеции. Меньшее основание трапеции $d=100 \text{ мм}$, расстояние $b=50 \text{ мм}$.



$$(B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2Id}{b\sqrt{d^2 + 4b^2}} \cdot (1 - \frac{1}{\eta}) = 1,4 \text{ мкТл}).$$

3.24. В тонком проводнике, изогнутом в виде правильного шестиугольника со стороной $a=20$ см, идет ток $I=10$ А. Определить магнитную индукцию в центре шестиугольника.

$$(B=34,8 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}).$$

3.25. Оценить индукцию магнитного поля B , создаваемого электроном в центре атома водорода, при движении электрона по первой боровской орбите, радиус которой $a=0,53 \cdot 10^{-10}$ м.

$$(12,5 \text{ Тл}).$$

3.26. По витку радиусом $R=10$ см течет ток $I=50$ А. Виток помещен в однородное магнитное поле $B=0,2$ Тл. Определить момент силы M , действующей на виток, если плоскость витка составляет угол $\varphi=60^\circ$ с линиями индукции.

$$(0,157 \text{ Н}\cdot\text{м}).$$

3.27. Обмотка соленоида содержит два слоя плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром $d=0,2$ мм. Определить магнитную индукцию \vec{B} на оси соленоида, если по проводу течет ток $I=0,5$ А.

$$(6,28 \text{ мТл}).$$

3.28. По тонкому стержню длиной $l=40$ см равномерно распределен заряд $Q=60$ нКл. Стержень вращается с частотой $n=12 \text{ с}^{-1}$ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a=l/3$ от одного из его концов. Определить магнитный момент Pm , обусловленный вращением стержня.

$$(3,6 \cdot 10^{-8} \text{ А}\cdot\text{м}^2).$$

3.29. Заряд $Q=0,1$ мкКл равномерно распределен по стержню длиной $l=50$ см. Стержень вращается с угловой скоростью $\omega=50$ рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его

середины. Найти магнитный момент Pm , обусловленный вращением стержня.

$$(5,2 \cdot 10^{-8} \text{ А} \cdot \text{м}^2).$$

3.30. В одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому течет ток $I=50$ А, расположена прямоугольная рамка так, что две большие стороны её длиной $l=65$ см параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно её ширине. Каков магнитный поток Φ , пронизывающий рамку?

$$(4,5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}).$$

3.31. Стержень длиной $l=20$ см заряжен равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau=0,2$ мкКл/м. Стержень вращается с частотой $n=10$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Определить магнитный момент Pm , обусловленный вращением стержня.

$$(Pm=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ А} \cdot \text{м}^2).$$

3.32. Диск с равномерно распределенным по его плоскости зарядом Q равномерно вращается вокруг оси, проходящей через центр диска перпендикулярно его плоскости с частотой n . Радиус диска R . Найти магнитный момент диска относительно оси z .

$$(Pm=(1/2)Q\pi nR^2 \text{ А} \cdot \text{м}^2).$$

3.33. Чугунное кольцо имеет воздушный зазор длиной $l_0=5$ мм. Длина l средней линии кольца равна 1 м. Сколько витков N содержит обмотка на кольце, если при силе тока $I=4$ А индукция B магнитного поля в воздушном зазоре 0,5 Тл? Напряженность поля в металле $H=1,5 \cdot 10^3$ А/м. Рассеянием магнитного потока в воздушном зазоре пренебречь.

$$(N=870).$$

3.34. На сердечнике в виде тора диаметром $d=500$ мм имеется обмотка с числом витков $N=1000$. В сердечнике сделана поперечная прорезь, в результате чего образовался воздушный зазор шириной $b=1$ мм. При силе тока в обмотке $I=0,85$ А напряженность поля в зазоре $H=600$ кА/м. Определить магнитную проницаемость μ железа при этих условиях. Рассеянием поля у краев зазора пренебречь.

$$\left(\mu = \frac{(\pi d - b)H}{NI - bH} = 3,8 \cdot 10^3\right).$$

3.35. Тонкий металлический стержень длиной $l=1,2$ м вращается с частотой $n=120$ мин⁻¹ в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной к стержню и отстоящей от одного из его концов на расстоянии $l_1=0,25$ м. Вектор \vec{B} параллелен оси вращения, $B=0,1$ мТл. Найти разность потенциалов U , возникающую между концами стержня.
($U=0,53$ мВ).

3.36 Электрон движется в однородном магнитном поле, индукция которого $B=7 \cdot 10^{-3}$ Тл, по окружности радиусом $R=3$ см. Определить скорость и энергию электрона, а также циклическую частоту (ларморову частоту) его вращения.

$$(V = 3,7 \cdot 10^7 \text{ м/с}; W = 6,24 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}; \omega_L = 1,23 \cdot 10^9 \text{ рад/с})$$

КОЛЕБАНИЯ, ВОЛНЫ И ОПТИКА

Механические колебания и волны

Примеры решения задач

34. Вдоль шнура распространяется поперечная волна, уравнение которой имеет вид: $y = 0,05 \sin(1,4\pi \cdot t - 0,5x)$ м ,

где y – смещение точек шнура, t -время (в секундах), x – координата точек шнура (в метрах).

Найти: а) период колебания точек шнура T ; б) скорость распространения волны V ; в) длину волны λ ; г) разность фаз колебания $\Delta\varphi$ точек шнура, находящихся на расстоянии $\Delta x = 1$ м; д) амплитуду скорости V_m поперечного движения частиц шнура.

Дано:

$$y = 0,05 \sin(1,4\pi \cdot t - 0,5x)$$

м

$$\Delta x = 1 \text{ м}$$

Решение:

Как известно, уравнение поперечной плоской волны, распространяющейся вдоль оси X , имеет

- а) T -?;
- б) V -?;
- в) λ -?;
- г) $\Delta\varphi$ -?;
- д) V_m -?

вид:

$$y = A \sin(\omega_0 t - kx + \alpha), \quad (1)$$

где A – амплитуда смещения, ω_0 – циклическая частота, k – волновое число, α – начальная фаза. Из сравнения условий задачи и выражения (1) можно найти искомые величины.

Период колебания T связан с циклической частотой соотношением:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \text{ Поэтому } T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{1,4\pi} = 1,42 \text{ с.}$$

Волновое число определяется выражением $k = \frac{\omega_0}{V}$.

Поэтому для скорости распространения волны V имеем:

$$V = \frac{\omega_0}{k} = 8,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

По найденным значениям периода колебаний T и скорости волны V можно определить длину волны из соотношения $\lambda = VT = 12,5 \text{ м}$.

Разность фаз колебаний любых двух точек шнура определяется формулой

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(\Delta x) = k\Delta x.$$

Поэтому для точек шнура из условия задачи имеем:

$$\Delta\varphi = k \cdot \Delta x = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ рад}$$

Скорость смещения точек шнура в поперечном направлении получается дифференцированием по времени выражения (1), т.е.:

$$\frac{dy}{dt} = A \cdot \omega_0 \cdot \cos(\omega_0 t - kx + \alpha). \quad (2)$$

Из условия задачи и формулы (2) для максимального значения скорости $\frac{dy}{dt}$ получается: $V_m = A \cdot \omega_0 = 0,05 \cdot 1,4\pi = 0,22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Ответ: а) $T = 1,42 \text{ с}$; б) $V = 8,8 \text{ м/с}$; в) $\lambda = 12,5 \text{ м}$; г) $\Delta\varphi = 0,5 \text{ рад}$; д) $V_m = 0,22 \text{ м/с}$.

ЗАДАЧИ

4.1. Найти смещение от положения равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстояние $l = \lambda/12$, для момента $t = T/6$. Амплитуда колебания $A = 0,05 \text{ м}$. Начальная фаза равна нулю.

(0,043 м).

4.2. Амплитуда гармонического колебания 5 см, период 4 с. Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.

$$(V_{max}=7,85 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}, a_{max}=12,3 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2).$$

4.3. Уравнение плоской волны имеет вид $y=0,34 \cdot \cos(0,2t-0,4x)$, где y – смещение частиц среды и все числовые значения заданы в системе СИ. Записать числовые значения частоты и периода колебаний, волнового числа, фазовой скорости и длины волны, а также максимальное значение смещения.

$$(V=0,5 \text{ м/с}, \lambda=15,7 \text{ м}).$$

4.4. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью $V=15$ м/с. Период колебания точек шнура $T=1,2$ с. Определить разность фаз $\Delta\phi$ колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях $x_1=20$ м, $x_2=30$ м.

$$(200^\circ).$$

Электромагнитные колебания и волны

Примеры решения задач

35. В колебательном контуре амплитуда колебаний напряжения на обкладках конденсатора за время $\tau = 1 \cdot 10^{-3}$ с уменьшается в $n = 3$ раз.

Найти:

- а) величину коэффициента затухания B контура;
- б) величину активного сопротивления R контура;
- в) добротность Q контура, если емкость конденсатора

$C = 0,2$ мкФ, индуктивность катушки $L = 8$ Гн.

Дано:

$$C = 0,2 \text{ мкФ}$$

$$L = 8 \text{ Гн}$$

$$\tau = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$n = 3$$

Решение:

В колебательном контуре происходят затухающие электрические колебания. Амплитуда колебаний напряжения на обкладках конденсатора U_m со

- а) B –?
- б) R –?
- в) Q –?

временем t уменьшается по закону:

$$U_m(t) = U_0 \cdot e^{-B \cdot t}, \quad (1)$$

где U_0 – постоянная величина. Через промежуток времени τ амплитуда напряжения равна

$$U_m(t + \tau) = U_0 \cdot e^{-B(t+\tau)}, \quad (2)$$

и уменьшается в n раз. Поэтому из выражений (1) и (2) получается

$$\frac{U_m(t)}{U_m(t + \tau)} = e^{B \cdot \tau} = n. \quad (3)$$

Прологарифмировав выражение (3), для коэффициента затухания имеем $B = \frac{\ln n}{\tau} = \frac{\ln 3}{1 \cdot 10^{-3}} = 1100 \text{ с}^{-1}$.

Коэффициент затухания B и активное сопротивление R контура связаны соотношением

$$B = \frac{R}{2L}. \quad (4)$$

Отсюда для величины R следует: $R = 2B \cdot L = 2 \cdot 1100 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 17,6 \text{ Ом}$.

Как известно, добротность контура определяется формулой:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{17,6} \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-6}}} = 11,4.$$

Ответ: а) $B = 1100 \text{ с}^{-1}$; б) $R = 17,6 \text{ Ом}$; в) $Q = 11,4$.

36. Цепь переменного тока частоты $\nu = 50 \text{ Гц}$ и напряжения $U = 220 \text{ В}$ состоит из последовательно соединенных конденсатора емкости $C = 35,4 \text{ мкФ}$, катушки индуктивности $L = 0,7 \text{ Гн}$, активного сопротивления $R = 100 \text{ Ом}$. Найти:

- а) импеданс Z ;
- б) сдвиг по фазе φ между током и напряжением;
- в) силу тока I ;
- г) падение напряжения на конденсаторе U_C , катушке U_L , активном

сопротивлении U_R .

Дано:
 $U = 220 \text{ В}$
 $C = 35,4 \text{ мкФ}$
 $L = 0,7 \text{ Гн}$
 $R = 100 \text{ Ом}$
 $\nu = 50 \text{ Гц}$

Решение:

Величины, характеризующие протекание тока циклической частоты $\omega = 2\pi\nu$ в цепи, определяются выражениями для индуктивного сопротивления

$$X_L = \omega \cdot L, \text{ емкостного сопротивления } X_C = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

	реактивного сопротивления $X = X_L - X_C$.
а) Z —?	Поэтому для искомых в задаче величин имеем:
б) φ —?	а) $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} =$
в) I —?	$= \sqrt{10^4 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,7 - \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 35,4 \cdot 10^{-6}})^2} = 164 \text{ Ом.}$
г) U_C —?	
U_L —?	
U_R —?	

$$\text{б) } \operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{Z} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{130}{164} = 0,793, \quad \varphi = 38^\circ 25';$$

$$\text{в) } I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{164} = 1,34 \text{ А; г) } U_C = I \cdot X_C = 120 \text{ В;}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 295 \text{ В; } U_R = I \cdot R = 134 \text{ В}$$

Ответ: а) $Z = 164 \text{ Ом}$; б) $\varphi = 38^\circ 25'$; в) $I = 1,34 \text{ А}$; г) $U_C = 120 \text{ В}$; $U_L = 295 \text{ В}$;
 $U_R = 134 \text{ В}$

ЗАДАЧИ

4.5. Уравнение изменения силы тока в колебательном контуре дается в виде $I = -0,02 \cdot \sin 400 \pi t$ (А). Индуктивность контура 1 Гн. Найти:

а) период колебаний;

б) емкость контура;

в) максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора.

$$(T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с, } C = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ Ф, } U_{\max} = 25,2 \text{ В}).$$

4.6. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре дано в виде

$$U = 50 \cdot \cos 10^4 \cdot \pi t \text{ В. Емкость конденсатора составляет } 9 \cdot 10^{-7} \text{ Ф. Найти:}$$

а) период колебаний;

б) индуктивность контура;

в) закон изменения со временем силы тока в цепи;

г) длину волны, соответствующую этому контуру.

$$(T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с, } L = 1,13 \text{ мГн, } I = -1,4 \cdot \sin 10^4 \cdot \pi t \text{ А, } \lambda = 6 \cdot 10^4 \text{ м}).$$

4.7. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C=7$ мкФ, катушки индуктивности $L=0,23$ Гн и сопротивлением $R=40$ Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $Q=5,6 \cdot 10^{-4}$ Кл. Найти:
 а) период колебаний контура;
 б) логарифмический декремент затухания колебаний;
 в) написать уравнение зависимости изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора от времени.

$$(T=8 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \lambda=0,7; U=80 \exp(-87 \cdot t) \cdot \cos(250 \pi t)).$$

4.8. В цепь переменного тока напряжением 220 В включены последовательно ёмкость C , активное сопротивление R и индуктивность L . Найти падение напряжения U_R на омическом сопротивлении, если известно, что падение напряжения на конденсаторе $U_C=2U_R$ и падение напряжения на индуктивности $U_L=3U_R$.

$$(U_R=156 \text{ В}).$$

4.9. Цепь переменного тока образована последовательно включенными активным сопротивлением $R=800$ Ом, индуктивностью $L=1,27$ Гн и ёмкостью $C=1,59$ мкФ. На зажимы подано 50-периодное действующее напряжение $U=127$ В. Найти:

- а) действующее значение силы тока I в цепи;
- б) сдвиг по фазе между током и напряжением;
- в) действующее значение напряжений U_R , U_L и U_C на зажимах каждого из элементов цепи.

$$(71 \text{ мА}; -63^\circ; 57 \text{ В}; 28 \text{ В}; 142 \text{ В}).$$

Оптика

Примеры решения задач

37. На мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ падает по нормали пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки d_{MIN} она в отраженном свете будет казаться зеленой ($\lambda_0 = 550 \text{ нм}$).

Дано:
 $n = 1,33$
 $\lambda_0 = 550 \text{ нм}$

Решение:
 Падающий на пленку пучок белого света содержит лучи различных длин волн. При отражении

d_{MIN} -?

происходит интерференция частей волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки.

Как известно, разность хода Δ интерферирующих лучей определяется выражением:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где d – толщина пленки, i – угол падения волны на поверхность пленки, λ – длина волны. Для того чтобы в отраженном свете пленка выглядела зеленой и, при этом, имела минимальную толщину, разность хода должна равняться λ_0 . Поэтому, как это следует из формулы (1):

$$2d_{MIN}\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = \frac{\lambda_0}{2}. \quad (2)$$

Учитывая, что угол падения $i = 90^\circ$, из соотношения (2) имеем:

$$d_{MIN} = \frac{\lambda_0}{4n} = \frac{550 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,33} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $d_{MIN} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

38. На прозрачную дифракционную решетку с периодом $d = 1,50 \text{ мкм}$ падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 530 \text{ нм}$. Найти: а) наибольший порядок m главного дифракционного максимума; б) угол дифракции φ_m главного дифракционного максимума наибольшего порядка.

Дано:

$$\lambda = 530 \text{ нм}$$

$$d = 1,50 \text{ мкм}$$

а) m - ?

б) φ_m - ?

Решение:

Условие главного дифракционного максимума порядка m имеет вид: $d \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda$, ($m = 0, 1, 2, \dots$), (1)

где φ – угол дифракции, соответствующего главного максимума.

Как следует из формулы (1), наибольший порядок дифракционного максимума должен удовлетворять соотношению $\frac{m \cdot \lambda}{d} = \sin \varphi_m \leq 1$.

Отсюда имеем $m = \left[\frac{d}{\lambda} \right] = \left[\frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{530 \cdot 10^{-9}} \right] = [2,83] = 2$. Для соответствующего

угла дифракции получим:

$$\varphi_m = \arcsin \frac{m \cdot \lambda}{d} = \arcsin \frac{2 \cdot 530 \cdot 10^{-9}}{1,5 \cdot 10^{-6}} = \arcsin 0,7066 = 45^\circ.$$

Ответ: а) $m = 2$; б) $\varphi_m = 45^\circ$.

39. Луч света, падающий на поверхность кристалла каменной соли, при отражении максимально поляризуется, если угол падения i равен 57° .

Найти:

а) показатель преломления n кристалла каменной соли;

б) скорость распространения V света в этом кристалле.

Дано:

$$i = 57^\circ$$

Решение:

Согласно закону Брюстера отраженный луч света максимально поляризован, если угол падения луча удовлетворяет соотношению

а) n —?

б) V —?

$$tgi = n. \quad (1)$$

Поэтому абсолютный показатель преломления кристалла

$$n = tgi = tg57^\circ = 1,54.$$

Скорость света в кристалле может быть найдена из известного соотношения:

$$V = \frac{c}{n}, \quad (2)$$

где c — скорость света в вакууме.

Поэтому из формул (1) и (2) имеем

$$V = \frac{c}{n} = \frac{c}{tgi} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,54} = 1,95 \cdot 10^8 \frac{м}{с}.$$

Ответ: а) $n = 1,54$ б) $V = 1,95 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$.

ЗАДАЧИ

5.1. На мыльную пленку с показателем преломления $n=1,33$ падает по нормали монохроматический свет с длиной волны $\lambda=0,6$ мкм. Отраженный свет в результате интерференции имеет наибольшую яркость. Какова наименьшая возможная толщина плёнки d_{\min} ?

(0,113 мкм).

5.2. Плоская световая волна длиной λ_0 в вакууме падает по нормали на прозрачную пластинку с показателем преломления n . При каких толщинах b пластинки отраженная волна будет иметь:

а) максимальную интенсивность;

б) минимальную интенсивность?

$$(\text{ а) } b=(\lambda_0/2n)(m+0,5) \text{ (} m=1,2,3\dots \text{); б) } b=(\lambda_0/2n)m \text{ (} m=1,2,3\dots \text{)).}$$

5.3. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Красная линия ($\lambda=630$ Нм) видна в спектре 3-го порядка под углом $\varphi=60^\circ$. Определить:

а) какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре 4-го порядка;

б) какое число штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка.

$$(\lambda=475 \text{ нм}, N=460 \text{ мм}^{-1}).$$

5.4. Пластина кварца толщиной $d_1=1$ мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол $\varphi_1=20^\circ$. Определить:

а) какова должна быть толщина d_2 кварцевой пластинки, помещенной между двумя “параллельными” николями, чтобы свет был полностью погашен;

б) какой длины l трубку с раствором сахара концентрации $C=0,4$ кг/л надо поместить между николями для получения того же эффекта.

Удельное вращение раствора сахара $\alpha_0=0,665$ град/($\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}$).

$$(d_2=4,5 \text{ мм}, l=3,4 \text{ дм}).$$

5.5. Под каким углом к горизонту должно находиться солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, стали бы наиболее полно поляризованы, если скорость света в воде $2,26\cdot 10^8$ м/с?

$$(37^\circ).$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Таблица вариантов задач к разделу "Механика"

Вариант	Номера задач				
1	1.1	1.16	1.22	1.44	1.65
2	1.2	1.17	1.23	1.45	1.66
3	1.3	1.18	1.25	1.46	1.67
4	1.4	1.19	1.26	1.47	1.68
5	1.5	1.20	1.27	1.48	1.69
6	1.6	1.21	1.28	1.49	1.70
7	1.7	1.16	1.29	1.50	1.71
8	1.8	1.17	1.30	1.51	1.71
9	1.9	1.18	1.31	1.52	1.65
10	1.10	1.19	1.32	1.53	1.66
11	1.11	1.20	1.33	1.54	1.67
12	1.12	1.21	1.34	1.55	1.68
13	1.13	1.16	1.35	1.56	1.69
14	1.14	1.17	1.36	1.57	1.70
15	1.15	1.18	1.37	1.58	1.71
16	1.1	1.19	1.38	1.59	1.71
17	1.2	1.20	1.39	1.60	1.65
18	1.3	1.21	1.40	1.61	1.66
19	1.4	1.16	1.41	1.62	1.67
20	1.5	1.17	1.42	1.63	1.68
21	1.6	1.18	1.43	1.64	1.69
22	1.7	1.19	1.22	1.45	1.70
23	1.8	1.20	1.23	1.46	1.71
24	1.9	1.21	1.25	1.47	1.71
25	1.10	1.16	1.26	1.48	1.65
26	1.11	1.17	1.27	1.49	1.66
27	1.12	1.18	1.28	1.50	1.67
28	1.13	1.19	1.29	1.51	1.68
29	1.14	1.20	1.30	1.52	1.69
30	1.15	1.21	1.31	1.53	1.70

**Таблица вариантов задач к разделу
"Молекулярная физика и термодинамика"**

Вариант	Номера задач				
1	2.1	2.6	2.12	2.20	2.33
2	2.2	2.7	2.13	2.21	2.34
3	2.3	2.8	2.14	2.22	2.35
4	2.4	2.9	2.15	2.23	2.36
5	2.5	2.10	2.16	2.24	2.37
6	2.1	2.11	2.17	2.25	2.33
7	2.2	2.6	2.18	2.26	2.34
8	2.3	2.7	2.19	2.27	2.35
9	2.4	2.8	2.12	2.28	2.36
10	2.5	2.9	2.13	2.29	2.37
11	2.1	2.10	2.14	2.30	2.33
12	2.2	2.11	2.15	2.31	2.34
13	2.3	2.6	2.16	2.32	2.35
14	2.4	2.7	2.17	2.20	2.36
15	2.5	2.8	2.18	2.21	2.37
16	2.1	2.9	2.19	2.22	2.33
17	2.2	2.10	2.12	2.23	2.34
18	2.3	2.11	2.13	2.24	2.35
19	2.4	2.6	2.14	2.25	2.36
20	2.5	2.7	2.15	2.26	2.37
21	2.1	2.8	2.16	2.27	2.33
22	2.2	2.9	2.17	2.28	2.34
23	2.3	2.10	2.18	2.29	2.35
24	2.4	2.11	2.19	2.30	2.36
25	2.5	2.6	2.12	2.31	2.37
26	2.1	2.7	2.13	2.32	2.33
27	2.2	2.8	2.14	2.20	2.34
28	2.3	2.9	2.15	2.21	2.35
29	2.4	2.10	2.16	2.22	2.36
30	2.5	2.11	2.17	2.23	2.37

Таблица вариантов задач к разделу "Электричество и магнетизм"

Вариант	Номера задач				
1	3.1	3.10	3.16	3.23	3.33
2	3.2	3.11	3.17	3.24	3.34
3	3.3	3.12	3.18	3.25	3.35
4	3.4	3.13	3.19	3.26	3.36
5	3.5	3.14	3.20	3.27	3.33
6	3.6	3.15	3.21	3.28	3.34
7	3.7	3.10	3.22	3.29	3.35
8	3.8	3.11	3.16	3.30	3.36
9	3.9	3.12	3.17	3.31	3.33
10	3.1	3.13	3.18	3.32	3.34
11	3.2	3.14	3.19	3.23	3.35
12	3.3	3.15	3.20	3.24	3.36
13	3.4	3.10	3.21	3.25	3.33
14	3.5	3.11	3.22	3.26	3.34
15	3.6	3.12	3.16	3.27	3.35
16	3.7	3.13	3.17	3.28	3.36
17	3.8	3.14	3.18	3.29	3.33
18	3.9	3.15	3.19	3.30	3.34
19	3.1	3.10	3.20	3.31	3.35
20	3.2	3.11	3.21	3.32	3.36
21	3.3	3.12	3.22	3.23	3.33
22	3.4	3.13	3.16	3.24	3.34
23	3.5	3.14	3.17	3.25	3.35
24	3.6	3.15	3.18	3.26	3.36
25	3.7	3.10	3.19	3.27	3.33
26	3.8	3.11	3.20	3.28	3.34
27	3.9	3.12	3.21	3.29	3.35
28	3.1	3.13	3.22	3.30	3.36
29	3.2	3.14	3.16	3.31	3.33
30	3.3	3.15	3.17	3.32	3.34

Таблица вариантов задач к разделу "Колебания, волны, оптика"

Вариант	Номера задач			
1	4.1	4.5	4.8	5.1
2	4.2	4.6	4.9	5.2
3	4.3	4.7	4.9	5.3
4	4.4	4.5	4.8	5.4
5	4.1	4.6	4.8	5.5
6	4.2	4.7	4.9	5.1
7	4.3	4.5	4.9	5.2
8	4.4	4.6	4.8	5.3
9	4.1	4.7	4.8	5.4
10	4.2	4.5	4.9	5.5
11	4.3	4.6	4.9	5.1
12	4.4	4.7	4.8	5.2
13	4.1	4.5	4.8	5.3
14	4.2	4.6	4.9	5.4
15	4.3	4.7	4.9	5.5
16	4.4	4.5	4.8	5.1
17	4.1	4.6	4.8	5.2
18	4.2	4.7	4.9	5.3
19	4.3	4.5	4.9	5.4
20	4.4	4.6	4.8	5.5
21	4.1	4.7	4.8	5.1
22	4.2	4.5	4.9	5.2
23	4.3	4.6	4.9	5.3
24	4.4	4.7	4.8	5.4
25	4.1	4.5	4.8	5.5
26	4.2	4.6	4.9	5.1
27	4.3	4.7	4.9	5.2
28	4.4	4.5	4.8	5.3
29	4.1	4.6	4.8	5.4
30	4.2	4.7	4.9	5.5

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунин В.Н., Пак К.И. Программа по физике. – Владимир: Владим. гос. техн. ун-т, 1992. – 32с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.-М.: Наука, 1987. – 607 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3т.Т.1.-М.: Наука, 1987. – 432 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3т.Т.2. -М.: Наука, 1988. – 496 с.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990. – 478с.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5т. Т.1. – М.: Наука, 1974. – 519 с.
7. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5т. Т.2. – М.: Наука, 1975. – 551 с.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5т. Т.3. – М.: Наука, 1977. – 687 с.
9. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5т. Т.4. – М.: Наука, 1980. – 751 с.
10. Калашников Э.Г. Электричество. – М.: Наука, 1997. – 590 с.
11. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976. – 926 с.
12. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1979. – 351 с.
13. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. – М.: Наука, 1988. – 288 с.
14. Иродов И.Е., Савельев И.В., Замша О.И. Сборник задач по общей физике. – М.: Наука, 1975. – 319 с.
15. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – М.: Высш. шк., 1988. – 527 с.
16. Экзаменационные вопросы и задачи по физике. Метод. указания/Сост.: А.Ф. Галкин, В.С. Плешивцев. – Владимир Владим. гос. ун-т, 1999. – 43 с.
17. Физика. Метод. указания и контрольные задания для студентов - заочников инженерно-технических специальностей вузов / Под ред. А.Г. Чертова – М.: Высш. шк., 1987. – 208 с.
18. Механика. Лабораторный практикум по физике / Под ред. А.А. Кулиша. Сост. О.Я. Бутковский, А.Ф. Галкин и др. – Владимир, 1992. – 67 с.

19. Молекулярная физика. Метод. указания к лаб. Работам по физике / Под ред. А.А. Кулиша. Сост. А.А. Кулиш, А.Ф. Галкин и др. – Владимир: Владим. политехн. ин-т, 1992. – 39 с.

20. Электростатика, электромагнетизм, электромагнитные колебания и волны. Метод. указания к лаб. занятиям по физике/Сост.: Л.В. Грунская, В.П. Кондаков и др. – Владимир, Владим. гос. ун-т., 2001. – 64 с.

21. Геометрическая, волновая и молекулярная оптика. Метод. указания к лаб. занятиям по физике / Под ред. А.Ф. Галкин. Сост. М.И. Андреева, А.Ф. Галкин и др. – Владимир: Владим. гос. техн. ин-т, 1994. – 84 с.

22. Методические указания к лабораторным работам по физике с обработкой результатов экспериментов на персональном компьютере / Под ред. В.С. Плешивцева. Сост. О.Я. Бутковский, В.Н. Кунин и др. – Владимир: Владимирский государственный университет, 1999. – 44с.

23. Электричество и магнетизм (Комплекс «Каскад») Метод. указания к лабораторным занятиям по физике / Сост. Н.Н. Красиков, В.Н. Кунин и др. – Владимир: Владим. политехн. ин-т, 1990. –24 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цели и задачи курса физики, его место в учебном процессе.....	
Общие методические указания	
Программа	
Вопросы, входящие в экзаменационные билеты	
Темы практических занятий	
Список лабораторных работ	
Примерные темы курсовых работ.....	
Программа коллоквиумов.....	
Зачетные требования.....	
Вопросы и задачи по физике.....	
Вопросы к коллоквиумам.....	
Задачи. Механика.....	
Задачи. Молекулярная физика и термодинамика.....	
Задачи. Электричество и магнетизм.....	
Задачи. Колебания, волны и оптика.....	
Контрольные задания.	
Список рекомендуемой литературы.....	

Издание учебное

Кулиш Александр Алексеевич
Галкин Аркадий Фёдорович
Кунин Владимир Николаевич
Плешивцев Валерий Семёнович

Физика. Программа, методические
указания и задачи для студентов
заочников (с примерами решения).

Учебное пособие

Редактор Е. П. Викулова
Художественное оформление обложки
и компьютерная вёрстка И.О. Крайнов.

ЛР № 020275. Подписано в печать
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж экз.
Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.