

Министерство образования и науки  
Кыргызской Республики

Кыргызский государственный технический университет  
им. И. Раззакова

Кафедра «Прикладная физика»

## **ФИЗИКА**

### **Часть 1**

## **МЕХАНИКА, СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

**Рабочая программа, методические указания и  
контрольное задание № 1 для студентов дистанционной  
формы обучения по специальности 552801 - Программное обеспечение вы-  
числительной техники и автоматизированных систем**

**Бишкек 2012**

Рассмотрены  
на заседании кафедры  
«Прикладная физика».  
Протокол № 3 от 29.11.11

Одобрены  
решением учебно-  
методического совета ИДО и ПК  
Протокол № 65 от 20.01.2012

УДК 53

Составители: ИСМАНОВ Ю.Х., ТУРГУМБАЕВ К.Т., МАРИПОВ А.

**Физика ч. I.** Механика, статистическая физика и термодинамика, электричество и магнетизм: рабочая программа, методические указания и контрольное задание № 1 для студентов дистанционной формы обучения по специальности 552801 - Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем / КГТУ. Сост.: Исманов Ю. Х., Тургумбаев К. Т., Марипов А. Б.: ИЦ «Текник», 2012. - 51 с.

Излагаются программа и методика изучения дисциплины, методика выполнения контрольных заданий и варианты контрольной работы № 1. Приводится список литературы.

Предназначены для студентов дистанционной формы обучения по специальности 552801 - Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем, изучающих курс физики в течение двух семестров

Рецензент: к. ф.-м. н., доцент Аманбаева Г. М.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с программой двухсеместрового изучения курса физики методические указания состоят из 2-х частей и содержат рабочую программу курса физики, рекомендации по решению и выполнению контрольных работ и задачи.

Цель данных методических указаний – оказать студентам дистанционной формы обучения помощь в изучении теоретических вопросов и выполнении контрольных работ.

В это издание (часть 1) включены методические указания к выполнению контрольной работы № 1 и контрольные задания по разделам «Механика», «Статистическая физика и термодинамика», «Электричество и магнетизм». Номер варианта – это последняя цифра шифра студента.

Студент, правильно выполнивший контрольную работу, допускается к собеседованию. В противном случае он обязан выполнить в своей тетради работу над ошибками, после чего представляет работу на повторное рецензирование.

При положительном результате собеседования студент получает зачет и допускается к экзамену.

## **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

1. На титульном листе указывают номер контрольной работы, группу, фамилию и инициалы студента, шифр.
2. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяют по таблицам вариантов (стр. 38).
3. Условия задач в контрольной работе переписываются полностью, без каких-либо сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляют поля.
4. В конце контрольной работы указывают литературу, которой студент пользовался при решении задач.
5. Зачтенные контрольные работы предъявляют экзаменатору. Студент обязан во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольную работу.
6. Решения задач следует сопровождать краткими пояснениями, в тех случаях, когда это возможно, сделать чертеж.
7. Задачу нужно решить в общем виде, т. е. выразив искомую величину в буквенных обозначениях, подробно поясняя ход решения задач.
8. В полученные расчетные формулы подставить числовые значения переменных и произвести вычисления.
9. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения, их допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовых значений однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.
10. Вычисления по расчетной формуле надо производить с соблюдением правил приближенных вычислений.
11. Контрольные работы, в которых не соблюдены указанные правила, а также выполненные не по своему варианту, не будут зачтены.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

Рабочая программа составлена на основе программы курса физики для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений, утвержденной Учебно-методическим управлением по высшему образованию в 1981 и 1991 годах.

## ВВЕДЕНИЕ

Предмет физики. Материя. Виды движения материи. Научный метод познания материи. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Важнейшие этапы истории физики. Физика и научно-технический прогресс. Связь физики с другими науками. Роль физики в становлении инженера. Общая структура и задачи курса физики. Размерность физических величин. Системы единиц. Основные единицы физических величин в СИ.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Кинематика поступательного движения. Физические модели в механике: материальная точка, система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда. Система отсчета. Радиус-вектор. Вектор перемещения. Траектория. Путь. Кинематическое описание движения. Число степеней свободы движения.

Прямолинейное движение материальной точки. Средняя и мгновенная скорости. Среднее и мгновенное ускорения.

Кинематика вращательного движения. Движение точки по окружности. Угол поворота. Угловая скорость. Угловое ускорение. Криволинейное движение материальной точки. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения. Связь между линейными и угловыми величинами кинематики.

Динамика поступательного движения. Основные задачи динамики. Современная трактовка законов Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Второй закон Ньютона – как основное уравнение динамики поступательного движения. Сила. Масса и импульс тела. Силы трения, упругости, тяжести.

Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Внешние и внутренние силы. Движение с переменной массой. Уравнение Мещерского. Уравнение Циолковского. Центр инерции. Движение центра масс.

Динамика вращательного движения. Вращательное движение материальной точки. Момент импульса. Момент силы. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса.

Вращательное движение абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси. Основное уравнение динамики вращательного движения тела. Момент инерции. Моменты инерции простейших тел.

Неинерциальные системы отсчета. Сила инерции. Поле гравитации. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и свободное падение тел.

Работа и энергия. Закон сохранения энергии. Механическая работа и мощность при поступательном движении. Работа и мощность при вращательном движении.

Кинетическая энергия при поступательном движении. Кинетическая энергия при вращательном движении.

Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия тела в гравитационном поле. Потенциальная энергия деформированной пружины. Полная механическая энергия. Закон сохранения энергии. Диссипация энергии.

Механический принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Классический закон сложения скоростей. Инвариантные величины и законы Ньютоновской механики. Формулировки механического принципа относительности. Изотропность пространства и абсолютность времени. Ограниченность Ньютоновской механики.

Элементы релятивистской механики. Релятивистская кинематика. Предпосылки к созданию специальной теории относительности. Постулаты специальной теории относительности Эйнштейна.

Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца: сокращение движущихся масштабов, замедление движущихся часов.

Релятивистский закон сложения скоростей.

Релятивистская динамика. Релятивистский импульс и его графическое представление. Основное уравнение релятивистской динамики. Работа и энергия в релятивистской динамике. Кинетическая энергия релятивистской частицы. Энергия покоя. Полная энергия. Взаимосвязь массы и энергии. Связь полной энергии, импульса и массы.

Механические колебания и волны. Кинематика гармонических колебаний. Гармонические колебания и их основные характеристики: смещение, амплитуда, фаза, период и частота. Скалярное сложение двух взаимно перпендикулярных колебаний. Векторное сложение колебаний одного направления.

Динамика механических колебаний. Пружинный, математический и физический маятники. Затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность. Вынужденные колебания. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонансные кривые.

Механические волны. Поперечные и продольные волны. Стоячие волны. Характеристики волн. Уравнение плоской волны. Фазовая скорость. Интерференция волн. Энергия упругой волны.

## Методические указания

Рекомендуется обратить особое внимание на три метода описания механического движения: 1) естественный; 2) векторный; 3) координатный. В первом случае рассматривается зависимость пути от времени  $s=s(t)$ , во втором зависимость радиус-вектора (вектора перемещения) от времени  $r=r(t)$  и в третьем – зависимость координат от времени  $x=x(t)$ ,  $y=y(t)$ ,  $z=z(t)$ .

При изучении кинематики необходимо использовать математический аппарат векторной алгебры и дифференциального исчисления.

При изучении динамики нужно обратить внимание на понятие массы, являющимся одним из наиболее важных и фундаментальных в физике. В законах Ньютона и сохранения импульса масса выступает как мера инертных свойств тела, а в законе всемирного тяготения масса - мера гравитационных свойств тела. В механике Ньютона инертная и гравитационная массы равны. В механике Ньютона, где рассматриваются движения со скоростями значительно меньшими скорости света в вакууме, пространство изотропно, а время абсолютно и они не зависят друг от друга. Законы Ньютона инвариантны относительно преобразований Галилея.

При изучении релятивистской механики (элементы специальной теории относительности (СТО)) необходимо подчеркнуть, что именно опыт доказал, что скорость в вакууме не зависит от движения источника света и одинакова во всех инерциальных системах отсчета. С помощью преобразования Лоренца нужно показать относительность одновременности, длин и промежутков времени и в то же время инвариантность интервала между двумя событиями, что свидетельствует о том, что пространство и время органически связаны между собой и образуют единую форму существования материи: пространство – время. Необходимо разобрать вопрос о границах применимости классической механики.

### Контрольные вопросы

1. Что такое физическая модель? Какие физические модели используются в механике?
2. Что называется системой отсчета?
3. Когда путь и перемещение совпадают?
4. Объясните различия между прямолинейными равномерным, неравномерным и равноускоренными движениями.
5. Дайте определения мгновенной скорости и мгновенного ускорения.
6. Может ли криволинейное движение быть равномерным?
7. Каков физический смысл нормального и тангенциального ускорений материальной точки? Как направлены эти ускорения относительно траектории?
8. Дайте определения мгновенной угловой скорости и мгновенного углового ускорения и укажите их направления.
9. Как связаны между собой угловые и линейные величины кинематики?
10. Какой физический смысл вложен в понятия массы тела и силы?
11. Сформулируйте три закона Ньютона.
12. Что называется импульсом тела и как формулируется закон сохранения импульса?
13. Какой закон лежит в основе реактивного движения?
14. Что называется моментом инерции материальной точки? Тела?
15. Как формулируется основное уравнение динамики вращательного движения?
16. Дайте определения механической работы и мощности и приведите их единицы измерения в системе СИ.
17. Какие поля называются потенциальными?
18. Какая связь между кинетической энергией и работой?
19. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
20. Сформулируйте принцип относительности Галилея.
21. Как формулируются постулаты Эйнштейна в специальной теории относительности?
22. Какие преобразования Лоренца вы знаете? Для чего они используются?

23. Как зависят от скорости материальной точки ее релятивистский импульс и кинетическая энергия?
24. Какое движение называется гармоническим колебанием?
25. Назовите характеристики гармонических колебаний.
26. По каким формулам определяются периоды колебаний математического и физического маятников?
27. Что называется механической волной? Какие характеристики волны вы знаете?

## **ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ**

Статистический метод исследования и его связь с учением диалектического материализма об отношении случайности и необходимости. Уравнение состояния идеального газа. Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры. Число степеней свободы молекул. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле. Среднее число столкновений, средняя длина свободного пробега молекул.

Явление переноса в термодинамически неравновесных системах. Опытные законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения. Молекулярно-кинетическая теория этих явлений. Термодинамический метод исследования. Равновесные состояния и процессы, их изображения на термодинамических диаграммах. Работа газа при изменении его объема. Количество теплоты. Теплоемкость. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа.

Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (цикл). Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Энтропия идеального газа. Второе начало термодинамики. Статистическое толкование второго начала термодинамики.

Отступление от законов идеального газа. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными изотермами. Критическое состояние вещества. Фазовые переходы 1-го и 2-го родов. Внутренняя энергия реального газа.

### **Методические указания**

В начале этой темы необходимо четко уяснить два качественно различных и взаимно дополняющих друг друга метода исследования физических свойств макроскопических систем – статистический (молекулярно-кинетический) и термодинамический.

При рассмотрении молекулярно-кинетической теории необходимо акцентировать внимание на строении вещества. Свойства макроскопической систе-



мы, в конечном счете, определяются свойствами частиц системы, особенностями их движения и средними значениями динамических характеристик этих частиц (их скоростей, энергий и т. д.).

Говоря о термодинамическом методе, необходимо четко сформулировать определения таких основных понятий как термодинамическая система, термодинамические параметры (параметры состояния), равновесное состояние, уравнение состояния, термодинамический процесс, внутренняя энергия и т. д. Следует тщательно разобрать такие вопросы как классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность, границы применимости закона равномерного распределения энергии по степеням свободы, законы распределения Максвелла и Больцмана.

Первое начало термодинамики целесообразно сформулировать и записать для малого изменения состояния замкнутой системы, т. е. системы, обменивающейся энергией с внешней средой только путем теплообмена и совершения работы. Привести несколько различных формулировок второго начала термодинамики и показать, что они полностью эквивалентны.

Для понимания отличия свойств реальных и идеальных газов необходимо уяснить, что уточненная модель газа учитывает действия сил взаимного притяжения и отталкивания молекул, как это сделано в модели газа Ван-дер-Ваальса.

### Контрольные вопросы

1. В чем суть статистического и термодинамического методов исследований?
2. Какие формы записи уравнения состояния идеального газа вам известны?
3. Назовите основные положения молекулярно-кинетической теории?
4. Что называется числом степеней свободы движения молекул? Какая энергия приходится на одну степень свободы?
5. Что такое средняя квадратичная, средняя арифметическая и наиболее вероятная скорости молекул газа, и каков их физический смысл?
6. Что определяют законы Максвелла и Больцмана?
7. Что такое внутренняя энергия с точки зрения молекулярно-кинетической теории?
8. Какие явления переноса вы знаете и чем обусловлен каждый из них?
9. Изменяется ли внутренняя энергия идеального газа при изотермическом расширении?
10. Всегда ли справедливо соотношение  $C_p - C_v = R$ ?
11. Чему равна работа при изохорическом процессе?
12. Сформулируйте первое начало термодинамики.
13. Что такое вечный двигатель второго рода?
14. Какие вы знаете формулировки второго начала термодинамики?
15. Может ли энтропия убывать в ходе необратимого процесса?
16. Какие и чем обусловленные поправки вносят в уравнение Клапейрона-Менделеева при выводе из него уравнения Ван-дер-Ваальса?

17. Чем отличаются экспериментальная и теоретическая изотермы Ван-дер-Ваальса и как это различие объясняется?

## **ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

### **ЭЛЕКТРОСТАТИКА**

Два рода электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Электрическое поле диполя. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применения к расчету полей. Работа при перемещении заряда в электрическом поле. Потенциал. Градиент потенциала. Электрическое поле в веществе. Диэлектрическая проницаемость. Электрическое смещение. Вектор поляризации. Сегнетоэлектрики. Проводники в электрическом поле. Распределение зарядов в проводнике. Емкость соединенного проводника. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

### **Методические указания**

Рекомендуется обратить внимание на взаимосвязь двух основных понятий электростатики – электрического заряда и электрического поля. Необходимо хорошо усвоить свойства электрического заряда – его дискретность, инвариантность и сохраняемость. Особого внимания заслуживает круг вопросов, связанных с расчетом электрических полей. В случае поля, созданного точечными зарядами, используется принцип суперпозиции, а в случае поля непрерывно распределенных зарядов – теорема Остроградского – Гаусса. При изучении вопроса об энергии заряженных проводников и конденсатора необходимо указать, что энергией обладают как сами заряженные проводники и конденсаторы, так и электрическое поле.

### **Контрольные вопросы**

1. Что означает 1) дискретность; 2) инвариантность; 3) сохранение электрического заряда?
2. Сформулируйте закон Кулона.
3. Как формулируется теорема Остроградского-Гаусса?
4. Расчет каких электромагнитных полей удобно производить на основе теоремы Остроградского-Гаусса? Как при этом нужно выбирать замкнутую поверхность?
5. В чем суть принципа суперпозиции?
6. Каково условие потенциальности силового поля? Докажите, что электростатическое поле является потенциальным?
7. Дайте определение потенциала электростатического поля.
8. Как связана работа перемещения заряда в электростатическом поле с напряженностью и потенциалом поля?

9. Как распределены заряды в проводнике и чему равны напряженность и потенциал внутри и на поверхности заряженного проводника?
10. В чем суть электростатической защиты?

## **ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**

Постоянный электрический ток. Условия существования тока и его характеристики. Законы Ома в интегральной и дифференциальной формах для однородного участка цепи. Обобщенный закон Ома. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный газы. Плазма. Дебаевский радиус экранирования. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Вакуумный диод.

### **Методические указания**

Определение электрического тока, как упорядоченного движения заряженных частиц, позволяет поставить естественный вопрос, что нужно для постоянного существования тока. Ответ на вопрос связан с рассмотрением различных видов проводников и источников тока.

Обратить внимание на преобразование экспериментально открытых законов Ома для однородного участка цепи и Джоуля-Ленца к их дифференциальным формам. Для ясного понимания обобщенного закона Ома необходимо дать четкое разграничение таких понятий как разность потенциалов, электродвижущая сила и электрическое напряжение.

В связи с рассмотрением тока в газах необходимо ввести понятие плазмы. Примером электрического тока в вакууме является работа вакуумного диода.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется электрическим током и каковы необходимые условия его существования?
2. Поясните физический смысл электродвижущей силы, напряжения и разности потенциалов.
3. Сформулируйте законы Ома в интегральной и дифференциальной формах для однородного участка цепи, а также его обобщенный закон.
4. Сформулируйте экспериментальный закон Джоуля-Ленца. Как этот закон формулируется в дифференциальной форме?
5. Что такое газовый разряд, и какие виды газового разряда существуют?
6. Что такое плазма?
7. Какое явление называется термоэлектронной эмиссией?
8. Объясните, почему вакуумный диод обладает выпрямляющим свойством?

## **ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

Магнитное поле в вакууме. Вектор магнитной индукции. Силовые линии магнитного поля. Силы Ампера. Сила Лоренца. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитных полей токов различной конфигурации. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока. Применение закона полного тока к расчету магнитных полей соленоида и тороида. Магнитный поток. Работа магнитного поля. Магнитное поле в веществе. Магнитный момент атома. Вектор намагниченности. Намагничивание пара-, диа- и ферромагнетиков. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Закон полного тока для магнитного поля в веществе.

### **Методические указания**

Изучение магнитного поля в вакууме необходимо начинать с опытов Эрстеда, Ампера и Иоффе. Это позволит решить вопрос об источнике магнитного поля. В качестве основной силовой характеристики магнитного поля выбирается вектор магнитной индукции. При изучении магнитного поля следует опираться на знания, полученные при изучении электростатического поля. Представление магнитного поля силовыми линиями покажет отличительные особенности этих полей.

Применение закона Био-Савара-Лапласа и принципа суперпозиции позволяет успешно проводить расчеты магнитных полей прямолинейного проводника с током и кругового тока. Для расчета магнитных полей соленоида и тороида удобно использовать закон полного тока.

При изучении магнитного поля в веществе особое внимание нужно уделить ферромагнетикам в связи с их широким практическим применением.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие выводы можно сделать по результатам опытов Эрстеда, Ампера и Иоффе?
2. Какие величины являются основной и дополнительной силовыми характеристиками магнитного поля?
3. В чем отличительная особенность силовых линий электростатического и магнитного полей?
4. От каких величин и как зависит сила Ампера?
5. Что такое сила Лоренца, и какова ее формула?
6. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
7. Какой закон выражает вихревой характер магнитного поля и какова его формула?
8. На какие классы делятся вещества по своим магнитным свойствам и как выглядят графики их намагничивания?
9. Что такое магнитный гистерезис?
10. Как формулируется закон полного тока для магнитного поля в веществе?

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

## Основные формулы.

### Классическая механика. Кинематика

Положение материальной точки в пространстве задается радиус-вектором:

$$\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z,$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  - единичные векторы направлений (орты),  $x, y, z$  - единица измерения в системе СИ  $[r]=\text{м}$  (метр).

Кинематическое уравнение движения материальной точки для координат и пути в общем виде:

$$x = f_1(t); y = f_2(t); z = f_3(t) \text{ и } s = f(t)$$

$f_1(t), f_2(t), f_3(t), f(t)$  - функции, вид которых зависит от характера движения.

Вектор средней скорости перемещения:

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t},$$

где  $\Delta \vec{r}$  - перемещение материальной точки за интервал времени  $\Delta t$ .

Средняя скорость прохождения пути:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где  $\Delta s$  - путь, пройденный материальной точкой (телом) за  $\Delta t$ .

Вектор мгновенной (истинной) скорости материальной точки:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{i}v_x + \vec{j}v_y + \vec{k}v_z,$$

где  $v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}$  - проекции мгновенной скорости.

Модуль вектора скорости:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

При движении материальной точки вдоль оси  $ox$ :  $v = v_x$ .

При равномерном прямолинейном движении  $v = \text{const}$ . Единица измерения в СИ:  $[v] = \text{м/с}$ .

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t},$$

где  $\Delta \vec{v}$  - изменение вектора скорости за промежуток времени  $\Delta t$ .

Вектор мгновенного ускорения:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{i}a_x + \vec{j}a_y + \vec{k}a_z = \vec{i} \frac{dv_x}{dt} + \vec{j} \frac{dv_y}{dt} + \vec{k} \frac{dv_z}{dt},$$

где  $a_x, a_y, a_z$  - проекции вектора ускорения.

Модуль вектора ускорения:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

При прямолинейном движении  $a = a_x$ . Единица измерения в СИ

$$[a] = \text{м/с}^2.$$

При криволинейном движении ускорение имеет составляющие:

1) нормальную  $a_n = \frac{v^2}{R}$  и 2) тангенциальную  $a_\tau = \frac{dv}{dt}$ . Здесь R- радиус кривизны в данной точке траектории.

Полное ускорение

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}.$$

Кинематическое уравнение равномерного движения материальной точки вдоль оси  $ox$ :

$$x = x_0 + v_x t,$$

где  $x_0$  - начальная координата материальной точки при  $t=0$ . При таком движении  $v=const$ ,  $a=0$ .

Кинематическое уравнение равнопеременного (равноускоренного) движения материальной точки вдоль оси  $ox$ :

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

где  $v_{0x}$  - начальная скорость.

Уравнение скорости при равнопеременном движении вдоль оси  $ox$ :

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Вращательное движение материальной точки по окружности, а также твердого тела вокруг заданной оси характеризуется углом поворота (угловым перемещением)  $\varphi$ . В СИ  $\varphi$  измеряется в радианах (рад).

Кинематическое уравнение вращательного движения

$$\varphi = f(t)$$

$f(t)$  – функция, зависящая от характера движения.

Средняя угловая скорость:

$$\langle \omega \rangle = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}.$$

Мгновенная угловая скорость:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad [\omega] = \text{рад/с}.$$

Среднее угловое ускорение

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}.$$

Мгновенное угловое ускорение  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ .

Кинематическое уравнение равномерного вращательного движения:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t,$$

где  $\varphi_0$  - угол поворота при  $t=0$ .

При равномерном вращении  $\omega=const$ ,  $\varepsilon=0$ .

Частота вращения:

$$n = N/t \text{ или } n = 1/T,$$

где N – число оборотов за время t, T – период вращения (время одного полного оборота).

Угловая скорость связана с  $n$  и  $T$  соотношением:

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T}.$$

Кинематическое уравнение равнопеременного вращательного движения:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

где  $\omega_0$  - начальная угловая скорость.

Уравнение изменения угловой скорости при равноускоренном движении:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t.$$

Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими вращение материальной точки, выражается следующими формулами:

Путь, пройденный материальной точкой при движении по окружности радиуса  $R$ :

$$s = \varphi R;$$

линейная скорость точки:

$$v = \omega R;$$

тангенциальное ускорение:

$$a_\tau = \varepsilon R;$$

нормальное ускорение:

$$a_n = \omega^2 R.$$

### Динамика поступательного движения

Импульс (количество движения) материальной точки:

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

где  $m$  – масса материальной точки,  $[p]=\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}$ .

Основное уравнение динамики (второй закон Ньютона):

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где  $\vec{F}$  - результирующая сила, действующая на материальную точку. Единица силы в СИ  $[F]=\text{Н}$  (ньютон).

Это же уравнение в проекциях на касательную и нормаль к траектории точки:

$$F_\tau = ma_\tau = m \frac{dv}{dt}, \quad F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R.$$

Силы в механике:

а) силы упругости

$$F_{\text{упр}} = -kx,$$

где  $k$  – коэффициент упругости,  $x$  - абсолютная деформация,  $[k]=\text{Н}/\text{м}$ ,  $[x]=\text{м}$ .

б) сила гравитационного притяжения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где  $G$ -гравитационная постоянная ( $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2$ ),  $m_1, m_2$  - массы взаимодействующих сил,  $r$  – расстояние между ними;

в) сила тяжести

$$F_m = mg,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения ( $g=9,8 \text{ м/с}^2$ );

г) сила трения скольжения

$$F_{mp} = fN = fmg,$$

где  $N$  – сила нормального давления,  $f$  – коэффициент трения скольжения.

Закон сохранения импульса:

а) абсолютно неупругий, прямой центральный удар

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u},$$

где  $m_1\vec{v}_1$  и  $m_2\vec{v}_2$  - импульсы шаров до столкновения,  $(m_1 + m_2)\vec{u}$  - после столкновения.

Скорость после удара

$$\vec{u} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2};$$

б) прямой центральный, абсолютно упругий удар

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

где  $m_1\vec{u}_1$  и  $m_2\vec{u}_2$  - импульсы первого и второго шаров после удара.

Скорости первого и второго шаров после удара

$$\vec{u}_1 = \frac{\vec{v}_1(m_1 - m_2) + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} \text{ и}$$

$$\vec{u}_2 = \frac{\vec{v}_2(m_2 - m_1) + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2}.$$

### Работа и энергия.

Работа переменной силы равна

$$A = \int_0^s F \cos \alpha ds \quad [A] = \text{Дж (джоуль)}.$$

Работа постоянной силы равна

$$A = FScos\alpha$$

Механическая мощность  $N = \frac{A}{t}$ , в случае постоянной силы

и  $N = \frac{dA}{dt}$ , в случае переменной силы.

$$N = Fv \cos \alpha, \quad [N] = \text{Вт (Ватт)}$$

Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}, \quad [E_k] = \text{Дж}$$

Потенциальная энергия:

а) упругодеформированной пружины

$$\Pi = \frac{kx^2}{2}$$

б) потенциальная энергия тела, поднятого над землёй на высоту  $h$ ,



$$\Pi = mgh.$$

Полная энергия тела

$$E = E_k + \Pi.$$

Закон сохранения энергии

$$E = E_k + \Pi = \text{const}.$$

### Динамика вращательного движения

Момент силы, действующей на тело, относительно оси вращения

$$M = F_{\perp} l,$$

где  $F_{\perp}$  - проекция силы на плоскость, перпендикулярную оси вращения;  $l$  – плечо силы.  $[M] = \text{Н}\cdot\text{м}$ .

Момент импульса вращающегося тела относительно неподвижной оси:

$$L = J\omega,$$

где  $J$  – момент инерции тела.

Момент инерции материальной точки

$$J = mr^2,$$

где  $m$  – масса,  $r$  – радиус вращения точки.

Момент инерции тела

$$J = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

В СИ  $L$  измеряется в  $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}}$ , а  $J$  – в  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

Основное уравнение динамики вращательного движения тела

$$M = J\varepsilon = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{dL}{dt}.$$

Закон сохранения момента импульса для двух взаимодействующих тел

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 = J_1'\omega_1' + J_2'\omega_2'$$

Закон сохранения момента импульса для одного тела, момент инерции которого изменяется со временем,

$$J_1\omega_1 = J_2\omega_2$$

Работа постоянного момента силы, действующего на вращающееся тело

$$A = M\varphi.$$

Мощность при вращательном движении

$$N = \frac{A}{t} = M\omega$$

Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения

$$E_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$

### Релятивистская механика (специальная теория относительности)

#### Релятивистская кинематика

Релятивистское (лоренцево) сокращение длины

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

где  $l_0$  - длина стержня, измеренная в системе отсчёта, относительно которой стержень покоится (собственная длина),  $l$  - длина, измеренная в системе, относительно которой стержень движется со скоростью  $v$ ,  $c$  - скорость света в вакууме.

Релятивистское (лоренцево) замедление хода часов

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

где  $\tau_0$  - интервал времени между двумя событиями, отсчитанный покоящимися часами (собственное время),  $\tau$  - промежуток времени между двумя событиями, отсчитанный движущимися часами.

### Релятивистская динамика

Масса релятивистской частицы и её импульс

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где  $m_0$  - масса покоя.

Основное уравнение релятивистской динамики

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

Полная энергия релятивистской частицы

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 + E_K,$$

где  $m_0 c^2 = E_0$  - энергия покоя,  $E_K$  - кинетическая энергия частицы.

$$E_K = E - m_0 c^2 = (m - m_0) c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right].$$

### Механические колебания и волны

Уравнение гармонических колебаний

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где  $x$  – смещение тела от положения равновесия.  $A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – циклическая (круговая) частота,  $\varphi_0$  – начальная фаза при  $t = 0$ .

Линейная частота колебаний

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad T - \text{период колебаний.}$$

Циклическая частота

$$\omega = 2\pi\nu.$$

Скорость гармонических колебаний:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2})$$

Ускорение при гармонических колебаниях:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки массой  $m$ :

$$E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0)$$

Потенциальная энергия

$$E_P = \frac{kx^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

Полная энергия

$$E = \frac{mA^2\omega^2}{2}$$

Период колебаний пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}},$$

где  $m$  – масса колеблющегося тела,  $J$  – момент инерции маятника,  $l$  – расстояние от точки подвеса до центра масс физического маятника,  $L$  – приведённая длина ( $L = J/ml$ ).

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где  $l$  – длина математического маятника.

### Примеры решения задач

Задача 1. Кинематическое уравнение движения материальной точки имеет вид  $X = Bt + Ct^2 + Dt^3$ , где  $B=2\text{м/с}$ ,  $C=0,1\text{м/с}^2$ ,  $D=0,05\text{м/с}^3$ .

Найти:

1) Начальную скорость  $v_0$ , 2) через сколько времени после начала движения ускорение  $a$  тела будет равно  $2\text{ м/с}^2$ , 3) среднюю скорость  $\langle v \rangle$ , 4) среднее ускорение  $\langle a \rangle$  за этот промежуток времени.

Дано:

$$X = Bt + Ct^2 + Dt^3$$

$$B=2\text{м/с}, C=0,1\text{м/с}^2, D=0,05\text{м/с}^3$$

$$a=2\text{ м/с}^2$$

$$1) v_0 = ? \quad 2) t = ? \quad 3) \langle v \rangle = ?$$

$$4) \langle a \rangle = ?$$

Решение:

1. Мгновенная скорость материальной точки:

$$v = \frac{dx}{dt} = B + 2Ct + 3Dt^2$$

Начальная скорость при  $t=0$ :

$$v_0 = B = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Мгновенное ускорение материальной точки:

$$a = \frac{dv}{dt} = 2C + 6Dt$$

$$\text{Отсюда находим } t: t = \frac{a-2C}{6D} = \frac{2\text{м/с}^2 - 0,2\text{м/с}^2}{0,18\text{м/с}^3} = 10 \text{ с}$$

3. Средняя скорость  $\langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x-x_0}{t-t_0}$ ;

$$\text{Так как } t_0 = 0, \text{ то } \langle v \rangle = \frac{A+Bt+Ct^2+Dt^3-A}{t} = \frac{Bt+Ct^2+Dt^3}{t} = B + Ct + Dt^2 =$$

$$= 2 \text{ м/с} + 1 \text{ м/с} + 3 \text{ м/с} = 6 \text{ м/с}.$$

4. Среднее ускорение  $\langle a \rangle = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v-v_0}{t-t_0} = \frac{v-v_0}{t}$ ;

$$\langle a \rangle = \frac{B + 2Ct + 3Dt^2 - B}{t} = \frac{2Ct + 3Dt^2}{t} = 2C + 3Dt =$$

$$= 0,2 \text{ м/с}^2 + 0,9 \text{ м/с}^2 = 1,1 \text{ м/с}^2$$

$$\text{Ответ: } 1) v_0 = 2 \text{ м/с}; \quad 2) t = 10 \text{ с}; \quad 3) \langle v \rangle = 6 \text{ м/с}; \quad 4) \langle a \rangle = 1,1 \text{ м/с}^2$$

Задача 2. Колесо, вращающееся с постоянной частотой  $n_0 = 20 \text{ с}^{-1}$ , при торможении начало вращаться равнозамедленно. Когда торможение прекратилось, вращение колеса стало равномерным с частотой  $n = 5 \text{ с}^{-1}$ . Найти угловое ускорение  $\varepsilon$  колеса и продолжительность торможения  $t$ , если за время равнозамедленного движения колесо сделало 100 оборотов.

Дано:

$$n_0 = 20 \text{ с}^{-1}$$

$$n = 5 \text{ с}^{-1}$$

$$N = 100$$

$\varepsilon$  - ?

$t$  - ?

Решение:

Поскольку движение колеса равнозамедленное, то угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t}$$

(1)

Кинематическое уравнение замедленного движения:

$$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (2)$$

Отсюда

$$t = \sqrt{\frac{2\varphi}{\varepsilon}} \quad (3)$$

С учетом (3) преобразуем (1):

$$\varepsilon = \frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\varphi} \quad (4)$$

Угол поворота за время замедленного движения  $t$ :

$$\varphi = 2\pi N \quad (5)$$

Угловые скорости:

$$\omega = 2\pi n \text{ и } \omega_0 = 2\pi n_0 \quad (6)$$

С учетом (5) и (6) преобразуем (4):

$$\varepsilon = \frac{\pi(n - n_0)^2}{N} = \frac{3,14(50^{-1} - 20^{-1})^2}{100} \approx 7,1 \frac{\text{рад}}{c^2}$$

Продолжительность торможения находим из (2):

$$t = \sqrt{\frac{2\varphi}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{4\pi N}{\varepsilon}} = 2\sqrt{\frac{\pi N}{\varepsilon}} = 2\sqrt{\frac{3,14 \cdot 100}{7,1}} \approx 6,7 \text{ с}$$

Ответ:  $\varepsilon = 7,1 \frac{\text{рад}}{c^2}$ ;  $t = 6,7 \text{ с}$

Задача 3. Под действием силы  $F = 10 \text{ Н}$  тело движется прямолинейно так, что зависимость пройденного пути  $s$  от времени  $t$  выражается уравнением  $s = A - Bt + Ct^2$  (м), где  $C = 1 \text{ м/с}^2$ . Найти массу тела.

Дано:

$$F = 10 \text{ Н}$$

$$s = A - Bt + Ct^2 \text{ (м)},$$

$$C = 1 \text{ м/с}^2$$

$m - ?$

Решение:

При движении тела под действием постоянной силы, ускорение остаётся тоже постоянным и определяется по второму закону Ньютона:

$$a = \frac{F}{m}, \quad \text{откуда} \quad m = \frac{F}{a}. \quad (1)$$

Ускорение есть производная от скорости по времени

$$a = \frac{dv}{dt}$$

В данном случае достаточно знать только модуль скорости, который равен производной от пути  $s$  по времени  $t$

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dt}(A - Bt + Ct^2) = -B + 2Ct$$

Тогда  $a = \frac{d}{dt}(-B + 2Ct) = 2C$ . (2)

Равенство (1), с учётом (2), запишется как  $m = \frac{F}{2C}$ .

Найдём числовое значение массы  $m = 10/2 = 5$  (кг).

Ответ:  $m = \frac{F}{2C} = 5$  (кг).

Задача 4. Маховик в виде сплошного диска радиусом  $R = 0,2$  м, массой  $m = 50$  кг раскручен до частоты вращения  $n_1 = 480$  мин<sup>-1</sup> и предоставлен сам себе. Под действием сил трения маховик остановился через  $t = 50$  с. Найти момент  $M$  сил трения.

Дано:

$R = 0,2$  м

$m = 50$  кг

$n_1 = 8$  с<sup>-1</sup>

$n_2 = 0$

$t = 50$  с

$M_{\text{тр}} = ?$

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения в виде:

$$M = J_z \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \tag{1}$$

Момент инерции маховика в виде сплошного диска определяется по формуле

$$J_z = \frac{mR^2}{2} \tag{2}$$

Изменение угловой скорости  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$  выразим через конечную  $n_2$  и начальную  $n_1$  частоты вращения, пользуясь соотношением  $\omega = 2\pi n$ .

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi(n_2 - n_1) \tag{3}$$

Подставив в формулу (1) выражения (2) для  $J_z$  и (3) для  $\Delta\omega$ , получим:

$$M_z = \pi m R^2 (n_2 - n_1) / \Delta t. \tag{4}$$

Подставив в (4) числовые значения величин, произведём вычисления:

$$M_z = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot (0,2) \cdot (0 - 8)}{50} \text{ Н} \cdot \text{м} = -1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ответ:  $M_z = -1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Задача 5. Написать уравнение гармонического колебательного движения материальной точки с амплитудой  $A = 5$  см, периодом  $T = 8$  с и начальной фазой  $\varphi_0 = \pi/4$ . Найти максимальную скорость и максимальное ускорение точки.

Дано:

$A = 5$  см

$$T = 8 \text{ с}$$

$$\varphi_0 = \pi/4$$

$x$  - ?

$$v_m - ?$$

$$a_m - ?$$

Пусть гармоническое колебание протекает по закону косинуса:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где  $x$  – смещение точки из положения равновесия,  $A$  – амплитуда колебаний ( $A = 5 \text{ см}$ ),  $\omega$  – циклическая частота колебаний ( $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ),  $\varphi_0$  – начальная фаза

( $\varphi_0 = \pi/4$ ). Циклическая частота  $\omega = \frac{2\pi}{8\text{с}} = \frac{\pi}{4} \text{ с}^{-1}$ .

Уравнение данного гармонического колебания:  $x = 5 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ см}$ .

Скорость гармонических колебаний:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d[5 \cos(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4})]}{dt} = -5 \frac{\pi}{4} \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right) \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$\text{Максимальная скорость: } v_m = \frac{5\pi \text{ см}}{4 \text{ с}} = 3,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Ускорение гармонических колебаний:

$$a = \frac{dv}{dt} = -5 \frac{\pi^2}{4^2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ см/с}^2$$

Максимальное ускорение:

$$a_m = \frac{5\pi^2 \text{ см}}{4^2 \text{ с}^2} = \frac{5 \cdot 3,14^2}{16} \approx 3,1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$$

$$\text{Ответ: } x = 5 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ см}; v_m = 3,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}; a_m \approx 3,1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$$

Задача 6. Материальная точка массой  $m = 10\text{г}$  совершает гармонические колебания с частотой  $n = 0,2\text{Гц}$ . Амплитуда колебаний равна  $5\text{см}$ . Определить: 1) максимальную силу, действующую на точку; 2) полную энергию колеблющейся точки.

Дано:

$$m = 10\text{г} = 10^{-2} \text{ кг}$$

$$n = 0,2\text{Гц}$$

$$A = 5\text{см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$F_m - ? E - ?$$

Решение:

Уравнение гармонического колебания

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Скорость колеблющейся точки

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Ускорение

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Сила, действующая на точку

$$F = ma = -mA\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = -F_m \cos(\omega t + \varphi_0).$$

$$F_m = mA\omega^2 = mA4\pi^2 n^2,$$

где  $F_m$  – максимальная сила.

$$F_m = 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 3,14^2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 0,8 \text{ мН}$$

Ответ:  $F_m = 0,8 \text{ мН}$ .

Задача 7. Энергия  $\pi$ -мезона, возникающего в верхних слоях атмосферы, составляет  $6 \text{ ГэВ}$ , а его среднее время жизни в связанной с ним системе отсчёта равно  $26 \text{ нс}$ . Принимая массу  $\pi$ -мезона равной  $273m_e$ , определить время его жизни в лабораторной системе отсчёта.

Дано:

$$E = 6 \text{ ГэВ} = 9,6 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

$$\tau_0 = 26 \text{ нс} = 26 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

$$m_0 = 273m_e = 273 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$\tau$  – ?

Решение:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (1)$$

Полная энергия релятивистской частицы

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$\sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{m_0 c^2}{E} \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1), получим:

$$\tau = \frac{\tau_0 E}{m_0 c^2}$$
$$\tau = \frac{26 \cdot 10^{-9} \cdot 9,6 \cdot 10^{-10}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 273 \cdot 9 \cdot 10^{16}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 1,1 \text{ мкс}$$

Ответ:  $\tau = 1,1 \text{ мкс}$ .

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### Основные формулы

Количество вещества  $\nu = N/N_A$ , или  $\nu = m/M$ ,

где  $N$  – число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.д.), составляющих тело (систему);  $N_A$  – постоянная Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ),  $m$  – масса газа,  $M$  – молярная масса, т. е. масса 1-го моля вещества.

$M = A_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ,  $A_r$  – относительная атомная масса.  $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .



Молярная масса вещества  $M = \frac{m}{\nu}$ , где  $m$  – масса однородного тела (системы);  $\nu$  – количество вещества этого тела.

Уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа)

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT,$$

где  $m$  – масса газа;  $M$  – молярная масса газа;  $R$  – молярная газовая постоянная ( $R=8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ );  $T$  – термодинамическая температура. Концентрация молекул:

$$n = \frac{N}{V} = N_A \rho / M,$$

где  $N$  – число молекул, содержащихся в данной системе;  $\rho$  – плотность вещества;  $V$  – объём системы.

Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_K \rangle,$$

где  $\langle \varepsilon_K \rangle$  – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы,

$$\langle \varepsilon_K \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К).

Полная средняя кинетическая энергия молекулы

$$\langle \varepsilon_i \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где  $i$  – число степеней свободы молекулы.

Зависимость давления газов от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT.$$

Удельные теплоёмкости газа при постоянном объёме –  $c_v$  и постоянном давлении  $c_p$

$$c_v = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}, \quad c_p = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{M}.$$

Связь между удельной  $c$  и молярной  $C$  теплоёмкостями

$$c = \frac{C}{M}.$$

Уравнение Майера

$$C_p - C_v = R.$$

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_v NT.$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A,$$

где  $Q$  – теплота, сообщённая системе (газу);  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы;  $A$  – работа, совершённая системой против внешних сил.

Работа расширения газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

в общем случае;

$$A = P(V_2 - V_1)$$

при изобарном процессе;

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

при изотермическом процессе.

Уравнение Пуассона, связывающее параметры идеального газа при адиабатном процессе:

$$PV^\gamma = const, TV^{\gamma-1} = const, \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}.$$

Термический КПД цикла в общем случае

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где  $Q_1$  - теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика;  $Q_2$  - теплота, переданная рабочим телом теплоприёмнику.

Термический КПД цикла Карно

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $T_1$  и  $T_2$  - термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприёмника.

### Примеры решения задач

Задача 8. Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении от 300 до 310 К. Определить количество теплоты, поглощённой газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Дано:

$$m = 320\text{г} = 0,32\text{кг}$$

$$T_1 = 300\text{К}$$

$$T_2 = 310\text{К}$$

$$Q - ? \Delta U - ? A - ?$$

Решение:

Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при постоянном давлении:

$$Q = \frac{m}{M} C_p (T_2 - T_1) \quad (1)$$

Здесь  $C_p$  - молярная изобарная теплоёмкость;  $M$  - молярная масса газа.

$$C_p = \frac{i+2}{2} R,$$

где  $i = 5$  для кислорода, как двухатомного газа;  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Подставляя в (1) числовые значения, получим:

$$Q = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,31 \cdot (310 - 300) = 2908,5 \text{ Дж}$$

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{m}{M} C_v (T_2 - T_1)$$

(2)

Подставляя числовые значения и учтя, что  $C_v = i \cdot R/2$ , получим:

$$\Delta U = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (310 - 300) = 2077,5 \text{ Дж.}$$

Работа расширения газа при изобарном процессе:  $A = P\Delta V$ , (3)

где  $\Delta V = V_2 - V_1$  - изменение объёма газа при расширении, можно найти из уравнения Клапейрона-Менделеева. Для двух состояний газа при изобарном процессе

$$PV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \quad (4)$$

$$PV_2 = \frac{m}{M} RT_2. \quad (5)$$

Вычитая почленно (4) из (5), получим:

$$P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1).$$

Подставляя полученное соотношение в (3), находим:  $A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ .

Численное значение  $A$  равно:

$$A = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31(310 - 300) = 831 \text{ Дж.}$$

Проверка:  $Q = \Delta U + A$ ;  $2908,5 = 2077,5 + 831 = 2908,5$

Ответ:  $Q = 2908,5$  Дж;  $\Delta U = 2077,5$  Дж;  $A = 831$  Дж.

Задача 9. Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{ср}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре  $T = 350$  К, а также кинетическую энергию  $E_K$  вращательного движения всех молекул кислорода массой  $m = 4$  г.

Дано:

$$T = 350 \text{ К}$$

$$m = 4 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$\langle \varepsilon_{\text{ср}} \rangle$  -?  $E_K$  -?

Решение:

На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая средняя энергия  $\langle E_i \rangle = \frac{1}{2} kT$ ,

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура газа. Так как вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода – двухатомная) соответствуют две степени свободы, то средняя энергия вращательного движения молекулы кислорода

$$\langle \varepsilon_{\text{вп}} \rangle = 2 \frac{1}{2} kT = kT \quad (1)$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа

$$E_K = \langle \varepsilon_{\text{вп}} \rangle N. \quad (2)$$

Число всех молекул газа

$$N = N_A \nu, \quad (3)$$

где  $N_A$  - постоянная Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);  $\nu$  - количество вещества.

Если учесть, что количество вещества  $\nu = \frac{m}{M}$ , где  $m$  - масса газа,  $M$  - молярная масса газа, то формула (3) примет вид:

$$N = N_A \frac{m}{M}.$$

Подставив выражение для  $N$  в формулу (2), получим:

$$E_K = N_A m \langle \varepsilon_{\text{вп}} \rangle / M.$$

Произведём вычисления, учитывая, что для кислорода  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

$$\langle \varepsilon_{\text{вп}} \rangle = kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 350K = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ (Дж)};$$

$$E_K = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 364 \text{ (Дж)}.$$

$$\text{Ответ: } \langle \varepsilon_{\text{вп}} \rangle = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}; E_K = 364 \text{ Дж}.$$

**Задача 10.** Кислород массой  $m = 2$  кг занимает объём  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  и находится под давлением  $P_1 = 0,2$  МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объёма  $V_2 = 3 \text{ м}^3$ , а затем при постоянном объёме до давления  $P_2 = 0,5$  МПа. Найти изменения  $\Delta U$  внутренней энергии газа, совершённую газом работу  $A$  и теплоту  $Q$ , переданную газу.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3 \text{ м}^3$$

$$P_1 = 0,2 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$A - ? \Delta U - ? Q - ?$$

Решение:

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = c_v m \Delta T = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M} m \Delta T,$$

где  $i$  - число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода  $i=5$ );  $\Delta T = T_3 - T_1$  - разность температур газа в конечном (третьем) и начальном состояниях.

Начальную и конечную температуру найдём из уравнения Клапейрона-Менделеева

$$PV = \frac{m}{M} RT, \text{ откуда } T = \frac{PVM}{mR}.$$

Работа расширения газа при постоянном давлении выражается формулой:

$$A_1 = \frac{m}{M} R \Delta T .$$

Работа газа, нагреваемого при постоянном объёме, равна нулю:  $A_2 = 0$ .

Следовательно, полная работа, совершаемая газом:  $A = A_1 + A_2 = A_1$ .

Согласно первому началу термодинамики теплота  $Q$ , переданная газу, идет на изменение внутренней энергии  $\Delta U$  и совершение работы  $A$ :

$$Q = \Delta U + A .$$

Произведём вычисления учтя, что для кислорода  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль:

$$T_1 = \frac{P_1 V_1 M}{mR} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} K = 385 K$$

$$T_2 = \frac{P_1 V_2 M}{mR} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} K = 1155 K$$

$$T_3 = \frac{P_2 V_2 M}{mR} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} K = 2887 K$$

$$A = \frac{mR(T_2 - T_1)}{M} = \frac{2 \cdot 8,31(1155 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 0,4 \text{ МДж} ;$$

$$A = A_1 = 0,4 \text{ МДж}$$

$$\Delta U = \frac{iRm}{2M} (T_3 - T_1) = \frac{5 \cdot 8,31 \cdot 2(2887 - 385)}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж} = 3,25 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,25 \text{ МДж}$$

$$Q = \Delta U + A = 3,25 + 0,4 = 3,65 \text{ МДж}$$

Ответ:  $A = 0,4 \text{ МДж}$  ;  $\Delta U = 3,25 \text{ МДж}$  ;  $Q = 3,65 \text{ МДж}$  .

## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

### Основные формулы

#### ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Закон сохранения электрического заряда:  $\sum_{i=1}^N q_i = const.$

Единица заряда в системе СИ - кулон (Кл).

Закон Кулона в системе СИ выглядит следующим образом:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} ,$$

где  $F$  – сила взаимодействия двух точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ ,  $r$ - расстояние между зарядами,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды,  $\epsilon_0$  – электрическая

постоянная ( $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$  или  $\frac{\Phi}{\text{м}}$ ).

Напряженность и потенциал электрического поля равны соответственно:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} , \quad \varphi = \frac{W_p}{q_0} ,$$

где  $\vec{F}$  - сила, действующая на положительный точечный заряд  $q_0$ , помещенный в данную точку поля,  $W_p$  - потенциальная энергия положительного точечного заряда  $q_0$ , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного на бесконечность, равна нулю).

Единица напряженности в СИ  $[E] = \frac{H}{Kл}$  или  $[E] = \frac{B}{м}$ , единица потенциала  $[\varphi] = B$ .  $1B = 1 \frac{Дж}{Кл}$ .

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом  $q$ :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

где  $r$  - расстояние от заряда  $q$  до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Связь напряженности электрического поля и потенциала  $E = -\frac{d\varphi}{dl}$ . В случае однородного поля  $E = \frac{u}{d}$ , где  $u$  - разность потенциалов между точками поля, находящимися на расстоянии  $d$  друг от друга.

Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов равны:

$\tau = \frac{dq}{dl}$ ,  $\sigma = \frac{dq}{ds}$ ,  $\rho = \frac{dq}{dv}$ . Единицы измерения для плотностей в системе СИ:

$$[\tau] = 1 \frac{Кл}{м}, [\sigma] = 1 \frac{Кл}{м^2}, [\rho] = 1 \frac{Кл}{м^3}.$$

Теорема Остроградского-Гаусса:

$$\Phi_E = \frac{\sum_i q_i}{\epsilon_0\epsilon}, \text{ где } \sum_i q_i - \text{ алгебраическая сумма зарядов, находящихся внутри}$$

замкнутой поверхности.

Напряженность поля, образованного бесконечно длинной заряженной нитью:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon a}, \text{ где } a - \text{ расстояние от нити до рассматриваемой точки.}$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

Напряженность поля, создаваемого двумя параллельными равномерно заряженными бесконечными плоскостями:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}.$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом  $R$  с общим зарядом  $q$  на расстоянии  $r$  от центра сферы равна:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

Связь между векторами электрического смещения и вектором напряженности электрического поля:  $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$ .

Работа сил поля по перемещению заряда  $q_0$  из точки поля с потенциалом  $\varphi_1$  в точку с потенциалом  $\varphi_2$ :  $A = q_0(\varphi_2 - \varphi_1)$ .

Емкость уединенного проводника:  $C = q/\varphi$ ,

где  $\varphi$  – потенциал проводника (при условии, что на бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю).

Емкость конденсатора в общем случае  $C = \frac{q}{U}$ ,

где  $U$  – разность потенциалов между обкладками конденсатора. Единица емкости в системе СИ:  $[C]=1 \text{ Ф}$  (Фарада).

Емкость плоского конденсатора  $C = \varepsilon_0 \varepsilon S/d$ ,

где  $S$  – площадь обкладки конденсатора;  $d$  – расстояние между обкладками.

Емкость батареи конденсаторов:

а) при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i},$$

б) при параллельном соединении  $C = \sum_{i=1}^N C_i$ ,

где  $N$  – число конденсаторов в батарее.

Энергия заряженного конденсатора

$W = qU/2$ ,  $W = CU^2/2$ ,  $W = q^2/(2C)$ , где  $q$  – заряд конденсатора,  $C$  – его емкость,  $U$  – разность потенциалов между обкладками.

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$W_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}.$$

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Сила постоянного тока  $I = q/t$ . В системе СИ единица измерения силы тока  $[I]=1 \text{ А}$  (Ампер).

Закон Ома для однородного участка цепи  $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$ ,

где  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$  – разность потенциалов (напряжение) на концах участка;  $R$  – сопротивление участка.

Закон Ома для неоднородного участка цепи (участка цепи, содержащего ЭДС)

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon}{R},$$

где  $\varepsilon$  – ЭДС источника тока;  $R$  – полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений).

Закон Ома для замкнутой (полной) цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ ,

где  $R$  – внешнее, а  $r$  – внутреннее сопротивление цепи.

Сопротивление  $R$  и проводимость  $G$  проводника

$$R = \rho l/S, \quad G = \gamma S/l,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление,  $\gamma$  – удельная проводимость,  $l$  – длина проводника,  $S$  – площадь поперечного сечения проводника.

Единицы измерения сопротивления и проводимости в системе СИ:

$[R] = 1 \text{ Ом}$ ,  $[G] = 1 \text{ См}$  (Сименс).

Работа тока:  $A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$ , где  $t$  – время.

Мощность тока  $P = IU$ ,  $P = I^2 R$ ,  $P = U^2/R$ ,  $[P] = 1 \text{ Вт}$ .

Закон Джоуля-Ленца  $Q = I^2 Rt = Ut = \frac{U^2}{R} t$

Закон Ома в дифференциальной форме  $j = \gamma E$ ,

где  $E$  – напряженность электрического поля;  $j$  – плотность тока. В СИ  $[j] = 1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$ .

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме:

$$W_0 = jE = \gamma E^2,$$

где  $W_0$  – удельная тепловая мощность тока  $[W_0] = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$ .

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Связь магнитной индукции  $B$  с напряженностью  $H$  магнитного поля

$$B = \mu\mu_0 H,$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды,  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ).

Единицы измерения  $B$  и  $H$  в системе СИ:  $[B] = 1 \text{ Тл}$  (Тесла),  $[H] = 1 \text{ А/м}$ .

Закон Био-Савара-Лапласа  $dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$ ,

где  $dB$  – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника с током длиной  $dl$ ,  $r$  – радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция,  $\alpha$  – угол между радиус-вектором и элементом проводника с током.

Магнитная индукция в центре кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

где  $R$  – радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}},$$



где  $h$  – расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля бесконечного прямолинейного тока

$$B = \mu\mu_0 I / (2\pi r_0),$$

где  $r_0$  – расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого конечным прямолинейным проводником с током в точке, расположенной на расстоянии  $r$  от проводника:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где  $\alpha_1$  - угол между проводником и линией, соединяющей его верхний конец с данной точкой,  $\alpha_2$  - угол между проводником и линией, соединяющей его нижний конец с данной точкой.

Магнитная индукция  $B$  в произвольной точке  $A$  оси соленоида

$$B = \frac{\mu_0 \mu I n}{2} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1), \quad (\alpha_2 < \alpha_1),$$

где  $\alpha_2$  и  $\alpha_1$  - соответственно, углы между линией, соединяющей точку  $A$  с одним и другим концами соленоида,  $n$  – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида ( $n = N/l$ ).

Индукция магнитного поля бесконечно длинного соленоида ( $l \gg d$ )

$$B = \mu_0 \mu I n.$$

Индукция магнитного поля тороида  $B = \mu\mu_0 I N / l = \mu\mu_0 I n$ ,

где  $l$  - длина тороида ( $l = 2\pi r$ ), где  $r$  – радиус окружности вдоль оси тороида.

Сила, действующая на прямолинейный проводник с током в однородном магнитном поле (закон Ампера),  $F = I B l \sin \alpha$ , где  $l$  – длина проводника;  $\alpha$  - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ . Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу  $dl$  проводника в отдельности:

$$dF = I B dl \sin \alpha.$$

Магнитный момент плоского контура с током

$$\vec{P}_m = I S \vec{n},$$

где  $\vec{n}$  - единичный вектор нормали к плоскости контура,  $I$  – сила тока, протекающего по контуру,  $S$  – площадь контура.

Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле

$$\vec{M} = [\vec{P}_m, \vec{B}].$$

Модуль механического момента  $M = P_m B \sin \alpha$ ,

где  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{P}_m$  и  $\vec{B}$ .

Сила Лоренца  $\vec{F} = q [\vec{v}, \vec{B}].$

Модуль силы Лоренца  $F = qvB \sin \alpha$ ,

где  $v$  - скорость частицы с зарядом  $q$ ;  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ .

Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS \cos \alpha \text{ или } \Phi = B_n S,$$

где  $S$  - площадь контура;  $\alpha$  - угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции,  $B_n$  - проекция вектора индукции на направление нормали;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_{(S)} B_n dS$$

(интегрирование ведется по всей поверхности  $S$ ).

Потокоцепление (полный поток)  $\psi = N\Phi$ .

Эта формула верна для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу  $N$  витков. В системе СИ магнитный поток измеряется в веберах:  $[\Phi] = 1 \text{ Вб}$ .

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$A = I\Delta\Phi.$$

Разность потенциалов на концах провода, движущегося со скоростью  $v$  в магнитном поле:

$$U = Blv \sin \alpha,$$

где  $l$  - длина провода;  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур, равен:

$q = \Delta\Phi/R$  или  $q = N\Delta\Phi/R = \Delta\psi/R$ , если контур содержит  $N$  витков. Здесь  $R$  - сопротивление контура.

### Примеры решения задач

Задача 11. Шарик массой 1 г, несущий заряд  $9,8 \cdot 10^{-8}$  Кл, подвешен в воздухе на тонкой шелковой нити. При приближении к нему заряда  $q_2$  противоположного знака на расстояние 4 см нить отклонилась от вертикали на угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определить величину заряда  $q_2$ .

Дано:

$$m = 1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг};$$

$$q_1 = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл};$$

$$r = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

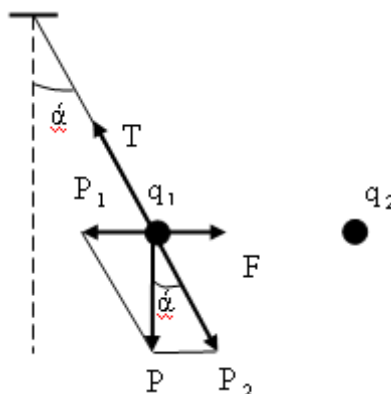
$$\alpha = 45^\circ;$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

---

$q_2$  -?



На шарик действуют три силы: вес шарика  $P$ , кулоновская сила притяжения  $F$  и натяжение нити  $T$  (см. рис. ). Разложим вес  $P$  на две составляющие  $P_1$  и  $P_2$ , направленные соответственно вдоль линий действия  $F$  и  $T$ . В положении равновесия составляющая  $P_1$  уравнивает силу  $F$ , а  $P_2$  - силу  $T$ . Силу  $F$  определим по закону Кулона:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}.$$

Из треугольника  $P_1 q_1 P$  найдем, что  $P_1 = P \operatorname{tg} \alpha = mg \operatorname{tg} \alpha$ . Поэтому

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} = mg \operatorname{tg} \alpha.$$

Отсюда

$$q_2 = \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2 mg \operatorname{tg} \alpha}{q_1};$$

$$[q_2] = \frac{\frac{\Phi}{\text{м}} \cdot \frac{\text{м}^2 \text{Кл}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{Кл}} = \frac{\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{Кл}$$

$$q_2 = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1(4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 1}{9,8 \cdot 10^{-8}} = 1,8 \cdot 10^{-8} (\text{Кл})$$

Ответ:  $q_2 = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$

Задача 12. Заряд  $1 \text{ нКл}$  переносится в воздухе из точки, находящейся на расстоянии  $1 \text{ м}$  от бесконечно длинной равномерно заряженной нити, в точку на расстоянии  $10 \text{ см}$  от нее. Определить работу, совершаемую против сил поля, если линейная плотность заряда нити  $1 \text{ мКл/м}$ .

Дано:

$$r_2 = 0,1 \text{ м}$$

$$r_1 = 1 \text{ м}$$

$$q = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\epsilon = 1$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$\tau = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}$$

А-?

Решение:

Работа  $A$  внешней силы по перемещению заряда  $q$  из точки поля с потенциалом  $\varphi_1$  в точку с потенциалом  $\varphi_2$  равна

$$A = q(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1)$$

Бесконечная равномерно заряженная нить с линейной плотностью заряда  $\tau$  создает поле напряженностью  $E = \tau / (2\pi\epsilon_0 \epsilon r)$ .

Напряженность и потенциал поля связаны соотношением

$$E = -\frac{d\varphi}{dr},$$

откуда  $d\varphi = -E dr$ . Разность потенциалов между точками, удаленными на расстояния  $r_1$  и  $r_2$  от нити, равна

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 \epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 \epsilon} \ln \frac{r_1}{r_2}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в формулу (1), найдем работу

$$A = \frac{q\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{r_2} = \frac{1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}} \ln \frac{1}{0,1} = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A = 4,1 \cdot 10^{-5}$  Дж.

Задача 13. В медном проводнике сечением  $6 \text{ мм}^2$  и длиной  $5 \text{ м}$  течет ток. За  $1$  минуту в проводнике выделяется  $18 \text{ Дж}$  теплоты. Определить напряженность поля, плотность и силу электрического тока в проводнике.

Дано:

$$S = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$Q = 18 \text{ Дж}$$

$$l = 5 \text{ м}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$t = 60 \text{ с}$$

$$E - ? \quad j - ? \quad I - ?$$

Для решения задачи используем закон Ома в дифференциальной форме, закон Джоуля - Ленца и формулу сопротивления проводника

$$j = \gamma E = E / \rho, \quad (1)$$

$$Q = I^2 R t, \quad (2)$$

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

$$j = I/S \quad (4)$$

$$\gamma = 1/\rho \quad (5)$$

где  $j$  – плотность тока,  $E$  – напряженность поля,  $\gamma$  – удельная проводимость,  $I$  – сила тока,  $t$  – время,  $\rho$  – удельное сопротивление,  $l$  – длина и  $S$  – площадь поперечного сечения проводника. Из формул (1)– (5) находим:

$$I = \sqrt{\frac{Q}{Rt}} = \sqrt{\frac{QS}{\rho l t}} = \sqrt{\frac{18 \text{ Дж} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 5 \text{ м} \cdot 60 \text{ с}}} = 4,6 \text{ А}$$

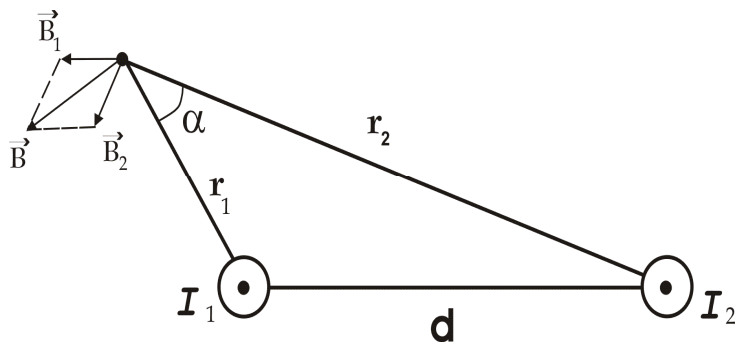
$$j = \frac{I}{S} = \frac{4,6 \text{ А}}{6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 7,7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2,$$

$$E = j\rho = 7,7 \cdot 10^5 \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ В/м.}$$

$$\text{Ответ: } E = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ В/м; } I = 4,6 \text{ А; } j = 7,7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2.$$

Задача 14. По двум бесконечно длинным прямым проводникам, расстояние между которыми  $d = 15 \text{ см}$ , текут токи  $I_1 = 70 \text{ А}$  и  $I_2 = 50 \text{ А}$  в одном направлении. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке, удаленной на  $r_1 = 10 \text{ см}$  от первого и  $r_2 = 20 \text{ см}$  от второго проводников.

Дано:  
 $d=15 \text{ см}=15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$   
 $I_1=70 \text{ А}$   
 $I_2=50 \text{ А}$   
 $r_1=0,1 \text{ м}$   
 $r_2=0,2 \text{ м}$   
 $\mu_0=12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$



В-?

В рассматриваемой точке А графически определяются направления векторов индукции  $\vec{B}_1$  и  $\vec{B}_2$  магнитных полей токов  $I_1$  и  $I_2$  (см.рис.) согласно правилу буравчика.

По принципу суперпозиции вектор индукции результирующего поля  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

Модуль вектора  $\vec{B}$  определяется по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha} \quad (1)$$

где  $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1}$  (2)

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} \quad (3)$$

$$\cos \alpha = (r_1^2 + r_2^2 - d^2)/(2r_1 r_2) \quad (4)$$

Подставляя (2), (3) и (4) в (1) получим:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2} + \frac{I_1 I_2}{r_1^2 r_2^2} (r_1^2 + r_2^2 - d^2)}$$

$$B = \frac{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{70^2 \text{ А}^2}{0,1^2 \text{ м}^2} + \frac{50^2 \text{ А}^2}{0,2^2 \text{ м}^2} + \frac{70 \cdot 50 \text{ А}^2 (0,1^2 + 0,2^2 - 0,15^2) \text{ м}^2}{0,1^2 \cdot 0,2^2 \text{ м}^4}} = 178 \text{ мкТл}$$

Ответ:  $B=178 \text{ мкТл}$ .

Задача 15. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 88 кВ, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции. Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить радиус траектории электрона и магнитный момент  $P_m$  эквивалентного кругового тока.

Дано:

$$U = 88 \text{ кВ} = 88 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$B = 0,01 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

---


$$r - ?$$

Сила Лоренца  $F_{Л} = evB \sin \alpha$  служит центробежной силой  $F_{ц} = mv^2 / r$ , движущей электрон по окружности. Энергия электрона  $mv^2 / 2 = eU$ . Откуда  $v = \sqrt{2eU / m}$ . (1)

Из равенства сил  $F_{Л} = F_{ц}$ :

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{e}}. \quad (2)$$

$$[r] = \frac{B^{1/2} \text{ кг}^{1/2}}{\text{Тл Кл}^{1/2}} = \frac{B^{1/2} \text{ кг}^{1/2} \text{ Кл} \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{Н Кл}^{1/2}} = \frac{\text{Дж}^{1/2} \text{ кг}^{1/2} \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{Н}} = \frac{\text{кг}^{1/2} \frac{\text{М}}{\text{с}} \text{ кг}^{1/2} \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м/с}^2}} = \text{м}$$

$$r = \frac{1}{10^{-2} \text{ Тл}} \sqrt{\frac{2 \cdot 88 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}} = 3,6 \text{ м}.$$

$$\text{Магнитный момент кругового тока } P_m = IS = \frac{e}{T} S = \frac{e}{T} \cdot \pi r^2. \quad (3)$$

$$\text{Период обращения электрона: } T = \frac{2\pi r}{v}; \quad (4)$$

$$\text{С учетом (4) } P_m = \frac{evr}{2} \quad (5)$$

Подставляя в (5) значения  $v$  из (1) и  $r$  из (2) получим:

$$P_m = \frac{eU}{B}; \quad (6)$$

$$P_m = \frac{Ue}{B} = 88 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} / 0,01 \text{ Тл} = 1,4 \text{ пА} \cdot \text{м}^2.$$

$$\text{Ответ: } r = 3,6 \text{ м}; \quad P_m = 1,4 \text{ пА} \cdot \text{м}^2.$$

Задача 16. Соленоид длиной 20 см и диаметром 4 см имеет плотную трехслойную обмотку из провода диаметром 0,1 мм. По обмотке соленоида течет ток 0,1 А. Определить напряженность и индукцию поля в соленоиде, индуктивность соленоида, энергию и объемную плотность энергии поля соленоида.

Дано:

$$l = 0,2 \text{ м}$$

$$D = 0,04 \text{ м}$$

$$N_1 = 3$$

$$d = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$I = 0,1 \text{ А}$$

---


$$H - ? \quad B - ? \quad L - ? \quad W - ? \quad w_0 - ?$$

Напряженность поля внутри соленоида  $H = In$ , где  $I$  — сила тока в обмотке;  $n = \frac{N_1 N}{l}$  — число витков, приходящихся на единицу длины соленоида;  $N$  — число витков в одном слое,  $N = \frac{l}{d}$ ;  $d$  — диаметр провода. Тогда

$$H = \frac{IN_1}{d} = \frac{0,1A \cdot 3}{1 \cdot 10^{-4} \text{ м}} = 3000 \text{ А/м}$$

$$B = \mu\mu_0 H = 1 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 3000 \frac{\text{А}}{\text{м}} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$$

Индуктивность соленоида  $L = \mu\mu_0 n^2 l S$ , где  $l$  – длина;  $S = \pi D^2 / 4$  – площадь поперечного сечения соленоида. Подставляя выражение для  $S$ , получим выражение для  $L$ :

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{d^2} l \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1 \cdot 12,52 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 3^2 \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 3,14 \cdot 4^2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{4 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 0,28 \text{ Гн.}$$

Энергия магнитного поля соленоида:

$$W = \frac{LI^2}{2} = 0,28 \text{ Гн} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ А}^2 \cdot \frac{1}{2} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w_0 = \frac{BH}{2} = \frac{3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 3000 \frac{\text{А}}{\text{м}}}{2} = 5,7 \text{ Дж/м}^3.$$

Ответ:  $H = 3000 \text{ А/м}$ ;  $B = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ ;  $L = 0,28 \text{ Гн}$ ;

$$W = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}; \quad w_0 = 5,7 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}.$$

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

Варианты	Номера задач											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
0	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	110	111	112
2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	210	211	212
3	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	311	312

4	I 41	I 42	I 43	I 44	I 45	I 46	I 47	I 48	I 49	I 410	I 411	I 412
5	I 51	I 52	I 53	I 54	I 55	I 56	I 57	I 58	I 59	I 510	I 511	I 512
6	I 61	I 62	I 63	I 64	I 65	I 66	I 67	I 68	I 69	I 610	I 611	I 612
7	I 71	I 72	I 73	I 74	I 75	I 76	I 77	I 78	I 79	I 710	I 711	I 712
8	I 81	I 82	I 83	I 84	I 85	I 86	I 87	I 88	I 89	I 810	I 811	I 812
9	I 91	I 92	I 93	I 94	I 95	I 96	I 97	I 98	I 99	I 910	I 911	I 912

I01. Диск радиусом  $R = 5$  см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угловой скорости от времени задаётся уравнением  $\omega = 2At + 5Bt^2$ , где  $A = 2 \text{ рад/с}^2$ ,  $B = 1 \text{ рад/с}^3$ . Определить для точек на ободе диска к концу первой секунды после начала движения: 1) полное ускорение; 2) число оборотов, сделанных диском.

I02. Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом  $r = 2$  м задаётся уравнением  $s = At^2 + Bt$  ( $A = 0,4 \text{ м/с}^2$ ,  $B = 0,1 \text{ м/с}$ ). Определить для момента времени  $t = 1$  с после начала движения: 1) нормальное ускорение; 2) тангенциальное ускорение; 3) полное ускорение.

I03. Груз массой  $m = 80$  кг поднимают вдоль наклонной плоскости с ускорением  $a = 1 \text{ м/с}^2$ . Длина наклонной плоскости  $l = 3$  м, угол  $\varphi$  её наклона к горизонту равен  $30^\circ$ , а коэффициент трения  $f = 0,15$ . Определить: 1) работу, совершаемую подъёмным устройством; 2) его мощность.

I04. По небольшому куску мягкого железа, лежащему на наковальне массой  $m_1 = 280$  кг, ударяет молот массой  $m_2 = 4$  кг. Определить КПД удара, если удар неупругий. Полезной считать энергию, затраченную на деформацию куска железа.

I05. Определить суммарную кинетическую энергию  $E_k$  поступательного движения всех молекул одноатомного газа, находящегося в сосуде вместимостью  $V = 2$  л под давлением  $P = 500 \text{ кПа}$ , а также кинетическую энергию одной молекулы при температуре  $30^\circ\text{C}$ .

I06. Определить молярную массу  $M$  трёхатомного газа и его удельные теплоёмкости, если известно, что разность  $c_p - c_v$  удельных теплоёмкостей этого газа равна  $200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ .

I07. Определить изменение энтропии  $\Delta s$  изотермического расширения азота массой  $m = 10$  г, если давление газа уменьшилось от  $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$  до  $P_2 = 50 \text{ кПа}$ .

I08. Материальная точка массой  $m = 10$  г совершает гармонические колебания с частотой  $n = 0,5 \text{ Гц}$ . Амплитуда колебаний  $A = 5$  см. Определить: 1) скорость точки в момент времени, когда смещение  $x = 7$  см; 2) максимальную силу, действующую на точку.

I09. Расстояние между двумя точечными зарядами  $q_1 = 3 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -2 \text{ нКл}$ , расположенными в вакууме, равно 20 см. Определить потенциал и напряженность поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние  $r_1 = 15$  см и от второго заряда на  $r_2 = 10$  см.

I010. Определить внутреннее сопротивление источника тока, если во внешней цепи при силе тока  $I_1 = 2$  А развивается мощность  $P_1 = 6$  Вт, а при силе тока  $I_2 = 5$  А мощность  $P_2 = 10$  Вт.

I011. По кольцевому проводнику радиусом 10 см течет ток 4 А. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии 2 см над его центром прохо-



дит прямолинейный бесконечный проводник, по которому течет ток 2 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в центре кольца. Рассмотреть все возможные случаи.

I012. Ионы двух изотопов с массами  $m_1 = 6,5 \cdot 10^{-26}$  кг и  $m_2 = 6,8 \cdot 10^{-26}$  кг, ускоренные разностью потенциалов  $U=0,5$  кВ, влетают в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,5$  Тл перпендикулярно линиям индукции. Заряд каждого иона равен элементарному заряду. Определить, насколько будут отличаться радиусы траекторий ионов изотопов в магнитном поле.

I11. С башни в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени  $t = 2$  с после начала движения: 1) скорость тела; 2) радиус кривизны траектории.

I12. Шар и сплошной цилиндр имеют одинаковую массу 2 кг и катятся с одинаковой скоростью 9 м/с. Найти кинетические энергии этих тел.

I13. Через неподвижный блок в виде однородного сплошного диска массой  $m = 160$  г перекинута невесомая нить, к концам которой подвешены грузы массами  $m_1 = 200$  г и  $m_2 = 300$  г. Пренебрегая трением в оси блока, определить: 1) ускорение  $a$  грузов; 2) силы натяжения  $T_1$  и  $T_2$  грузов.

I14. Определить скорость электрона, если его релятивистская масса в два раза больше массы покоя. Вычислить кинетическую и полную энергии электрона.

I15. Определить внутреннюю энергию  $U$  кислорода, а также среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon \rangle$  молекулы этого газа при температуре  $T = 300$  К, если количество вещества  $\nu$  этого газа равно 2 моль.

I16. Найти удельные  $c_p$  и  $c_v$  теплоёмкости, а также молярные  $C_p$  и  $C_v$  теплоёмкости кислорода.

I17. При изотермическом расширении азота при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$  объём его увеличился в три раза. Определить: 1) совершённую при расширении газа работу  $A$ ; 2) изменение  $\Delta U$  внутренней энергии; 3) количество теплоты  $Q$ , полученное газом. Масса азота  $m = 0,3$  кг.

I18. Материальная точка массой  $m = 5$  г совершает гармонические колебания с периодом  $T = 2$  с. Амплитуда колебаний  $A = 3$  см. Определить: 1) ускорение точки в момент времени, когда смещение  $x = 2$  см; 2) полную энергию колеблющейся точки.

I19. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость  $10^8$  см/с. Расстояние между пластинами 5,3 мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами, 2) напряженность электрического поля внутри конденсатора, 3) поверхностную плотность заряда на пластинах.

I110. Определить число последовательно соединенных элементов с э. д. с.  $E = 1,2$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,1$  Ом каждый, если известно, что при подключении полученной батареи к двум параллельно соединенным сопротивлениям величиной 6 и 9 Ом в цепи идет ток 3 А.

I111. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью  $H=10$  кА/м. Вычислить период вращения электрона.

I112. По двум прямым бесконечным параллельным проводникам, расстояние между которыми  $d=20$  см, текут токи  $I_1=40$  А и  $I_2=80$  А в одном направлении. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке, удаленной от первого проводника на  $r_1=12$  см и от второго на  $r_2=16$  см.

I21. Маховик, вращающийся с постоянной частотой  $\omega = 10\text{с}^{-1}$ , при торможении начал вращаться равнозамедленно. Когда торможение прекратилось, вращение маховика снова стало равномерным, но уже с частотой  $5\text{с}^{-1}$ . Определить угловое ускорение маховика и продолжительность  $t$  торможения, если за время равнозамедленного движения маховик сделал  $N = 50$  оборотов.

I22. Шар массой  $m_1 = 2$  кг движется со скоростью  $v_1 = 3$  м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой  $m_2 = 4$  кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

I23. На обод маховика диаметром  $D = 50$  см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой  $m = 3$  кг. Определить момент инерции  $J$  маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время  $t = 3$  с приобрёл угловую скорость  $\omega = 10\text{рад/с}$ . Какова масса маховика?

I24. Масса движущегося протона  $2,25 \cdot 10^{-27}$  кг. Найти скорость и кинетическую энергию протона.

I25. Количество вещества азота  $\nu = 1,5$  моль, температура  $t = -10^\circ\text{C}$ . Определить суммарную кинетическую энергию всех молекул этого газа.

I26. Определить показатель адиабаты  $\gamma$  идеального газа, который при температуре  $T = 200\text{К}$  и давлении  $P = 0,6\text{МПа}$  занимает объём  $V = 200\text{л}$  и имеет теплоёмкость  $C_v = 857\text{Дж/К}$ .

I27. Определить количество теплоты, необходимое для нагрева азота массой  $m = 0,1\text{кг}$  от температуры  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 90^\circ\text{C}$  при постоянном давлении. Найти также изменение внутренней энергии газа и совершённую им работу.

I28. Материальная точка массой  $m = 50\text{г}$  совершает гармонические колебания согласно уравнению  $x = 0,1 \cos \frac{3\pi}{2} t$  м. Определить: 1) возвращающую силу  $F$  для момента времени  $t = 0,5$  с; 2) полную энергию точки.

I29. В вершинах равностороннего треугольника находятся положительные одинаковые заряды  $q = 2\text{нКл}$ . Какой отрицательный заряд  $q_1$  необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы отталкивания положительных зарядов?

I210.

Разность потенциалов между точками А и В (рис.1)  $U=9 В$ . Емкости конденсаторов соответственно равны  $C_1=3 мкФ$  и  $C_2=6 мкФ$ . Определить:

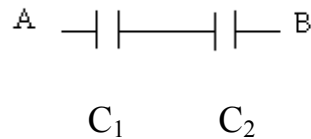


Рис.1

- 1) заряды  $q_1$  и  $q_2$ ;
- 2) разности потенциалов  $U_1$  и  $U_2$  на обкладках каждого конденсатора.

I211. Электрический чайник вместимостью  $1,5 дм^3$  имеет сопротивление нагревательного элемента  $80 Ом$ , КПД  $80 \%$  и работает при напряжении  $220 В$ . Начальная температура воды  $20^0С$ . Определить: 1) мощность тока, потребляемую чайником; 2) силу тока в нагревательном элементе; 3) время, в течение которого вода в чайнике закипит; 4) стоимость энергии, если  $1 кВт \cdot ч$  стоит  $50$  тыйын.

I212. В однородном магнитном поле с индукцией  $0,2 Тл$  находится прямой проводник длиной  $0,2 м$ , концы которого подключены гибким проводом, находящимся вне поля, к источнику тока. Определить силу тока в проводнике, если известно, что при расположении его перпендикулярно к линиям индукции поля вес проводника  $P=0,4 Н$  уравнивается силой, действующей на проводник со стороны поля.

I31. Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время  $t = 2 мин$  оно изменило частоту вращения от  $240$  до  $60 мин^{-1}$ . Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время.

I32. Шар массой  $m_1 = 1 кг$  движется со скоростью  $v_1 = 4 м/с$  и сталкивается с шаром массой  $m_2 = 2 кг$ , движущимся ему навстречу со скоростью  $v_2 = 3 м/с$ . Какова кинетическая энергия шаров после удара? Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

I33. Через блок перекинута нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы массами  $m_1 = 2 кг$  и  $m_2 = 0,5 кг$ . Вся система находится в лифте, поднимающемся с ускорением  $a = 2,1 м/с^2$ , направленным вверх. Считая нить и блок невесомыми, определить силу давления блока на ось.

I34. Определить, какая кинетическая энергия должна быть сообщена ракете массой  $m = 1 т$ , чтобы она приобрела скорость  $v = 150 Мм/с$ .

I35. Молярная внутренняя энергия  $U_m$  некоторого трёхатомного газа равна  $5 кДж / моль$ . Определить среднюю кинетическую энергию одной молекулы этого газа. Газ считать идеальным.

I36. В сосуде вместимостью  $V = 3 л$  находится при нормальных условиях одноатомный газ. Определить теплоёмкости этого газа при постоянных объёме и давлении.

I37. Кислород массой  $m = 100 г$  занимает объём  $V = 50 л$  и находится под давлением  $P = 100 кПа$ . При нагревании газ расширился при постоянном давлении до объёма  $V_1 = 200 л$ , а затем его давление возросло до  $P_1 = 400 кПа$  при неизменном объёме. Найти изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа, совершённую газом работу  $A$  и теплоту  $Q$ , переданную газу. Построить график процесса.

- I38. Материальная точка колеблется согласно уравнению  $x = A \cos \omega t$ , где  $A = 5$  см и  $\omega = \frac{\pi}{12} c^{-1}$ . Когда возвращающая сила  $F$  в первый раз достигает значения 12 мН, потенциальная энергия  $\Pi$  точки оказывается равной 0,15 мДж. Определить: 1) момент времени  $t$ ; 2) соответствующую этому моменту фазу  $\varphi$ .
- I39. Заряды по одному нКл помещены в вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,2 м. Равнодействующая сил, действующих на четвертый заряд, помещенный на середине одной из сторон треугольника, равна 0,6 мкН. Определить этот заряд, напряженность и потенциал поля в точке его расположения.
- I310. Энергия плоского воздушного конденсатора 0,4 нДж, разность потенциалов на обкладках 600 В, площадь пластин  $1 \text{ см}^2$ . Определить расстояние между обкладками, напряженность и объемную плотность энергии поля конденсатора.
- I311. Электрическая плитка мощностью 1 кВт с нихромовой спиралью предназначена для включения в сеть с напряжением 220 В. Сколько метров проволоки диаметром 0,5 мм надо взять для изготовления спирали, если температура нити составляет  $900^\circ\text{C}$ ? Удельное сопротивление нихрома при  $0^\circ\text{C}$   $\rho_0 = 1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , а температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .
- I312. Протоны ускоряются в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1,2 \text{ Тл}$ . Максимальный радиус кривизны траектории протонов составляет  $R = 40 \text{ см}$ . Определить: 1) кинетическую энергию протонов в конце ускорения; 2) минимальную частоту ускоряющего напряжения, при которой протоны ускоряются до энергии  $T = 20 \text{ МэВ}$ .
- I41. Материальная точка движется в плоскости  $xy$  согласно уравнениям  $x = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$  и  $y = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$ , где  $B_1 = 7 \text{ м/с}$ ,  $C_1 = -3 \text{ м/с}^2$ ,  $B_2 = -2 \text{ м/с}$ ,  $C_2 = 0,5 \text{ м/с}^2$ . Найти модуль скорости и ускорения точки в момент времени  $t = 4 \text{ с}$ .
- I42. Определить КПД  $\eta$  неупругого удара бойка массой  $m_1 = 0,6 \text{ т}$ , падающего на сваю массой  $m_2 = 100 \text{ кг}$ . Полезной считать энергию, затраченную на вбивание сваи.
- I43. Шар и сплошной цилиндр, изготовленные из одного и того же материала и имеющие одинаковые массы, катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии цилиндра.
- I44.  $\pi$ -мезон движется со скоростью  $v = 0,9c$  по направлению к центру Земли. Какое расстояние пройдёт эта элементарная частица в системе отсчёта, связанной с Землёй ( $K$ -система), за интервал времени  $\Delta\tau_0 = 1 \text{ с}$ , отсчитанный в системе отсчёта  $K'$ , связанной с частицей? Суточным вращением Земли и её орбитальным движением вокруг Солнца пренебречь.
- I45. Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon \rangle$  одной молекулы углекислого газа при температуре  $t = 150^\circ\text{C}$  и её среднеквадратичную скорость.
- I46. Определить относительную молекулярную массу  $M_r$  и молярную массу  $M$  газа, если разность его удельных теплоёмкостей  $c_p - c_v = 3,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ . Чему равна масса этой молекулы в килограммах?

- I47. При адиабатном сжатии давление воздуха было увеличено от  $P_1 = 30 \text{ кПа}$  до  $P_2 = 0,5 \text{ МПа}$ . Затем при неизменном объёме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление  $P_3$  газа в конце процесса.
- I48. Математический маятник длиной  $l = 50 \text{ см}$  подвешен в кабине самолёта. Определить период и циклическую частоту маятника, если самолёт движется: 1) равномерно; 2) горизонтально с ускорением  $a = 2,5 \text{ м/с}^2$ .
- I49. Протон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью  $V = 10^5 \text{ м/с}$ . Напряженность электрического поля в конденсаторе  $100 \text{ В/см}$ , длина конденсатора  $5 \text{ см}$ . Найти числовое значение и направление скорости протона при вылете его из конденсатора.
- I410. Конденсатор емкостью  $16 \text{ мкФ}$  последовательно соединен с конденсатором неизвестной емкости. Конденсаторы подключены к источнику постоянного напряжения  $12 \text{ В}$ . Определить емкость второго конденсатора и напряжение на каждом конденсаторе, если заряд батареи  $24 \text{ мкКл}$ .
- I411. Электрическая плитка мощностью в  $1 \text{ кВт}$  с нихромовой спиралью предназначена для включения в сеть с напряжением  $220 \text{ В}$ . Сколько метров проволоки диаметром  $0,5 \text{ мм}$  надо взять для изготовления спирали, если температура нити составляет  $900^\circ\text{C}$ ? Удельное сопротивление нихрома при  $0^\circ\text{C}$   $\rho_0 = 1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , а температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 4 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ .
- I412. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью  $H = 10 \text{ кА/м}$ . Вычислить период вращения электрона.
- I51. Автомобиль массой  $2 \text{ т}$  движется равнозамедленно, имея начальную скорость  $v_0 = 36 \text{ км/ч}$  и ускорение  $a = -0,2 \text{ м/с}^2$ . Найти силу торможения автомобиля. Какое расстояние проходит автомобиль до полной остановки?
- I52. Шар массой  $m_1 = 2 \text{ кг}$  движется со скоростью  $v_1 = 3 \text{ м/с}$  и сталкивается с шаром массой  $m_2 = 5 \text{ кг}$ , который движется ему навстречу со скоростью  $v_2 = 2 \text{ м/с}$ . Определить кинетические энергии шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
- I53. Какой момент силы  $M$  приложен к блоку, вращающемуся с частотой  $n = 10 \text{ с}^{-1}$ , если он остановился в течение времени  $t = 5 \text{ с}$ . Диаметр блока  $D = 20 \text{ см}$ . Масса блока  $m = 6 \text{ кг}$ . Блок рассмотреть как сплошной диск.
- I54. При какой скорости масса электрона в 5 раз больше его массы покоя? Чему равен при этом импульс электрона?
- I55. Найти удельные  $c_p$  и  $c_v$  и молярные  $C_p$  и  $C_v$  теплоёмкости азота и водорода.
- I56. Кислород находится при температуре  $t = 30^\circ\text{C}$ . Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{ср}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию  $E_K$  всех молекул этого газа. Количество кислорода  $\nu = 0,2 \text{ моль}$ .
- I57. Гелий массой  $m = 0,2 \text{ кг}$  был изобарно нагрет от температуры  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ . Определить работу  $A$ , совершённую газом, полученную им теплоту  $Q$  и изменение  $\Delta U$  внутренней энергии гелия.
- I58. Тело совершает колебания по закону  $x = A \cos \omega t$ , где  $A = 5 \text{ см}$ ,  $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$ . Определить ускорение тела в момент времени, когда его скорость  $v = 8 \text{ см/с}$ .

I59. Свинцовый шарик ( $\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$ ) диаметром 0,5 см помещен в глицерин ( $\rho_1 = 1,26 \text{ г/см}^3$ ). Определить заряд шарика, если в однородном электростатическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине, электростатическое поле направлено вверх и его напряженность  $E = 4 \text{ кВ/см}$ .

I510. Лампа, включенная в сеть с напряжением  $U_1 = 200 \text{ В}$ , потребляет мощность  $P_1 = 40 \text{ Вт}$  и ярко горит, причем температура нити  $t_1 = 3000^\circ \text{С}$ . При включении в сеть с напряжением  $U_2 = 100 \text{ В}$  лампа потребляет мощность  $P_2 = 25 \text{ Вт}$  и еле светится, так как температура нити при этом равна  $t_2 = 1000^\circ \text{С}$ . Найти сопротивление  $R_0$  нити лампы при температуре  $t = 0^\circ \text{С}$ .

I511. Соленоид без сердечника с однослойной обмоткой из проволоки диаметром  $d = 0,4 \text{ мм}$  имеет длину  $l = 0,5 \text{ м}$  и поперечное сечение  $S = 60 \text{ см}^2$ . За какое время при напряжении  $U = 10 \text{ В}$  и силе тока  $I = 1,5 \text{ А}$  в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии поля внутри соленоидов? Поле считать однородным.

I512. Соленоид диаметром  $d = 3 \text{ см}$  имеет однослойную обмотку из плотно прилегающих друг к другу витков алюминиевого провода ( $\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$ ) диаметром  $d_1 = 0,3 \text{ мм}$ . По соленоиду течет ток  $I_0 = 0,5 \text{ А}$ . Определить количество электричества  $q$ , протекающее по обмотке соленоидов, если концы обмотки замкнуть.

I61. Тело брошено под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту со скоростью  $v_0 = 25 \text{ м/с}$ . Найти нормальное  $a_n$  и тангенциальное  $a_t$  ускорения тела через  $t = 1 \text{ с}$  после начала движения.

I62. Шар массой  $m_1 = 2 \text{ кг}$  движется со скоростью  $u_1 = 2 \text{ м/с}$  и сталкивается с покоящимся шаром массой  $m_2 = 1 \text{ кг}$ . Определить скорости  $u_1$  и  $u_2$  шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

I63. Платформа в виде диска диаметром  $D = 2 \text{ м}$  и массой  $m_1 = 150 \text{ кг}$  может вращаться вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью  $\omega_1$  будет двигаться эта платформа, если по её краю пойдёт человек массой  $m_1 = 60 \text{ кг}$  со скоростью  $v = 2 \text{ м/с}$  относительно платформы?

I64. С какой скоростью движется протон, если его кинетическая энергия равна  $2 \text{ МэВ}$ ? Определить импульс протона.

I65. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекул газа, заключённого в сосуд вместимостью  $V = 3 \text{ л}$  под давлением  $P = 250 \text{ кПа}$ . Масса газа  $m = 0,1 \text{ г}$ .

I66. Определить молярные теплоёмкости газа, если его удельные теплоёмкости  $c_v = 10,4 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$  и  $C_v = 14,6 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ . Сколько степеней свободы вращательного движения имеет молекула?

I67. Во сколько раз увеличится объём азота, содержащий количество вещества  $\nu = 0,3 \text{ моль}$ , при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты  $Q = 500 \text{ Дж}$ ? Температура азота  $t = 30^\circ \text{С}$ .

I68. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение точки равно  $10 \text{ см}$ , наибольшая скорость равна  $20 \text{ см/с}$ . Найти угловую частоту  $\omega$  колебаний и максимальное ускорение.

I69. С какой силой будут притягиваться два одинаковых свинцовых шарика радиусом  $R=1$  см, расположенные на расстоянии  $r=1$  м друг от друга, если у каждого атома первого шарика отнять по одному электрону и все эти электроны перенести на второй шарик? Атомная масса свинца  $A_r=207$ , плотность  $\rho = 11,3$  г/см<sup>3</sup>.

I610. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого 2 см, заряжен до разности потенциалов 3000 В. Какова будет напряженность поля между пластинами конденсатора, если, не отключая источника напряжения, пластины раздвинуть до расстояния 5 см? Вычислить энергию конденсатора до и после раздвижения. Площадь каждой пластины 100 см<sup>2</sup>.

I611. Какой величины заряд проходит по проводу с сопротивлением  $R=4$  Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода от  $U_0=3$  В до  $U=5$  В в течение  $t=20$  с?

I612. Альфа- частица, кинетическая энергия которой равна 500 эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости ее движения. Индукция магнитного поля 10 Тл. Найти: 1) силу, действующую на частицу; 2) радиус окружности, по которой движется частица; 3) период обращения частицы.

I71. Шар массой 500 г и радиусом 5 см вращается вокруг оси, проходящей через точку, лежащую на его поверхности. Закон вращения шара имеет вид  $\varphi = 4 + 2t - 2t^2$ . Определить вращающий момент.

I72. Из ствола автоматического пистолета вылетела пуля массой  $m_1 = 8$  г со скоростью  $v = 400$  м/с. Затвор пистолета массой  $m_2 = 190$  г прижимается к стволу пружиной, жёсткость которой  $k = 30$  кН/м. На какое расстояние отойдёт затвор после выстрела? Считать, что пистолет жёстко закреплён.

I73. Блок, имеющий форму диска, массой  $m = 0,5$  кг, вращается под действием силы натяжения нити, к концам которой подвешены грузы массами  $m_1 = 0,2$  кг и  $m_2 = 0,6$  кг. Определить силы натяжения  $T_1$  и  $T_2$  нити по обе стороны блока.

I74. Частица движется со скоростью  $v = c/3$ , где  $c$  – скорость света в вакууме. Какую долю энергии покоя составляет кинетическая энергия частицы?

I75. В кислороде взвешены мельчайшие пылинки, которые движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Масса каждой пылинки равна  $6 \cdot 10^{-10}$  г. Газ находится при температуре  $t = 40^\circ\text{C}$ . Определить средние квадратичные скорости  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , а также средние кинетические энергии  $\langle \varepsilon_{\text{к}} \rangle$  поступательного движения молекулы кислорода и пылинки.

I76. Вычислить удельные теплоёмкости газа, зная, что его молярная масса  $M = 14 \cdot 10^{-3}$  кг/моль и отношение теплоёмкостей  $\frac{C_p}{C_v} = -1,67$ .

I77. Какая доля  $\omega_1$  количества теплоты  $Q$ , подводимого к идеальному трёхатомному газу при изобарном процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии  $\Delta U$  газа, и какая доля  $\omega_2$  идет на работу расширения?

I78. К пружине подвешен груз массой  $m = 10$  кг. Зная, что пружина под воздействием силы  $F = 9,8$  Н растягивается на  $l = 7,5$  см, найти период вертикальных колебаний груза и его полную энергию.

179. Шар, погруженный в керосин, имеет потенциал 4500 В и поверхностную плотность заряда  $1,5 \text{ нКл/см}^2$ . Найти: 1) радиус; 2) заряд; 3) емкость; 4) энергию шара.
1710. Электрон влетел в плоский конденсатор, имея скорость  $V = 10 \text{ Мм/с}$ , направленную параллельно пластинам. На сколько приблизится электрон к положительно заряженной пластине за время движения внутри конденсатора, если поле однородное и расстояние между пластинами равно 16 мм, разность потенциалов  $U=30 \text{ В}$  и длина пластин равна 6 см?
1711. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение  $\tau = 10 \text{ с}$ . За это время в проводнике выделилось количество теплоты  $Q=1 \text{ кДж}$ . Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его равно 3 Ом.
1712. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми  $d=10 \text{ см}$ , текут токи  $I_1=50 \text{ А}$  и  $I_2=40 \text{ А}$  в одном направлении. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной от первого проводника на 15 см и от второго на 10 см.
181. Сплошной шар массой 0,2 кг вращается вокруг своей оси, проходящей через центр его масс, под действием момента сил  $8 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Закон вращения имеет вид  $\varphi = 5 - t + 2t^2$ . Определить радиус шара.
182. Из орудия, не имеющего противооткатного устройства, производилась стрельба в горизонтальном направлении. Когда орудие было неподвижно закреплено, снаряд вылетел со скоростью  $v_1 = 500 \text{ м/с}$ , а когда орудью дали возможность свободно откатываться назад, снаряд вылетел со скоростью  $v_2 = 450 \text{ м/с}$ . С какой скоростью откатилось при этом орудие?
183. Горизонтальная платформа массой  $m_1 = 180 \text{ кг}$  вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, с частотой  $n = 10 \text{ мин}^{-1}$ . Человек массой  $m_2 = 70 \text{ кг}$  стоит при этом на краю платформы. С какой угловой скоростью начнёт вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к её центру? Считать платформу круглым, однородным диском, а человека – материальной точкой.
184. Во сколько раз масса движущегося электрона, обладающего кинетической энергией  $1 \text{ МэВ}$ , больше его массы покоя?
185. При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы газа равна  $1,15 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ? Какова среднеквадратичная скорость молекулы гелия при этой температуре?
186. Двухатомный газ под давлением  $P = 200 \text{ кПа}$  и температуре  $t = 20^\circ \text{C}$  занимает объём  $V = 5 \text{ л}$ . Определить теплоёмкость этого газа при постоянном давлении.
187. Какая работа  $A$  совершается при изотермическом расширении водорода массой  $m = 3 \text{ кг}$ , взятого при температуре  $t = 29^\circ \text{C}$ , если объём газа увеличится в три раза?
188. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки  $A = 2 \text{ см}$ , полная энергия колебаний  $E = 0,3 \text{ мкДж}$ . При каком смещении  $x$  от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила  $F = 22,5 \text{ мкН}$ ?



189. Заряды по одному нКл помещены в вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,2 м. Равнодействующая сил, действующих на четвертый заряд, помещенный на середине одной из сторон треугольника, равна 0,6 мкН. Определить этот заряд, напряженность и потенциал поля в точке его расположения.

1810. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора  $100 \text{ см}^2$ , а расстояние между пластинами 4 мм. От источника напряжения к пластинам приложено напряжение 2 кВ. После отключения источника напряжения в пространство между пластинами внесли стекло ( $\varepsilon = 7$ ). Найти: 1) разность потенциалов между пластинами после отключения источника; 2) емкость конденсатора до и после внесения диэлектрика; 3) поверхностную плотность заряда до и после внесения диэлектрика.

1811. Два длинных прямых взаимно перпендикулярных провода отстоят друг от друга на расстоянии  $a$ . В каждом проводе течет ток  $I$ . Найти максимальное значение силы Ампера на единицу длины провода в этой системе.

1812. Некоторая заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $10^6 \text{ м/с}$ . Индукция магнитного поля 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Найти: 1) заряд частицы; 2) период обращения частицы.

191. Диск радиусом  $r = 20 \text{ см}$  вращается согласно уравнению  $\varphi = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 3 \text{ рад}$ ,  $B = -1 \text{ рад/с}$ ,  $C = 0,1 \text{ рад/с}^2$ . Определить тангенциальное  $a_t$ , нормальное  $a_n$  и полное ускорение точек на окружности диска в конце второй секунды после начала движения.

192. Два шара массами  $m_1 = 2,5 \text{ кг}$  и  $m_2 = 1,5 \text{ кг}$  движутся навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 6 \text{ м/с}$  и  $v_2 = 2 \text{ м/с}$ . Определить: 1) скорость  $u$  шаров после удара; 2) долю кинетической энергии шаров, превратившейся во внутреннюю энергию. Удар считать прямым, неупругим.

193. На краю неподвижной скамьи Жуковского диаметром  $D = 0,6 \text{ м}$  массой  $m_1 = 5 \text{ кг}$  стоит человек массой  $m_2 = 60 \text{ кг}$ . С какой угловой скоростью начнёт вращаться скамья, если человек поймает летящий на него мяч массой  $m = 0,5 \text{ кг}$ ? Траектория мяча горизонтальна и проходит на расстоянии  $r = 0,5 \text{ м}$  от оси скамьи. Скорость мяча  $v = 8 \text{ м/с}$ .

194. Скорость протона  $v = 0,8c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме. Определить кинетическую энергию  $T$  протона ( $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ).

195. Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_K \rangle$  поступательного движения и  $\langle \varepsilon_{ep} \rangle$  вращательного движения молекулы водорода при температуре  $t = 100^\circ \text{C}$ . Определить также полную кинетическую энергию  $E_K$  молекул 1 моля водорода при этой температуре.

196. Кислород занимает объём  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  и находится под давлением  $P_1 = 200 \text{ кПа}$ . Газ нагрели сначала при постоянном объёме  $V_2 = 3 \text{ м}^3$ , а затем при постоянном объёме до давления  $P_2 = 500 \text{ кПа}$ . Найти: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) совершённую им работу  $A$ ; 3) количество теплоты  $Q$ , переданное газу.

197. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, произвёл работу  $A = 600$  Дж. Температура нагревателя 500К, а холодильника на 200К ниже. Определить: 1) КПД цикла; 2) количество теплоты, отданное холодильнику за один цикл.

198. Точка совершает гармонические колебания. Период колебаний  $T = 2$  с, амплитуда  $A = 50$  мм, начальная фаза  $\varphi_0 = 0$ . Найти скорость точки в момент времени, когда смещение точки от положения равновесия  $x = 25$  мм. Написать уравнение движения.

199. Заряд в 1 нКл переместился в поле заряда +1,5 нКл из точки с потенциалом 100 В в точку с потенциалом 600 В. Определить работу сил поля и расстояние между этими точками.

1910. Электрон с начальной скоростью  $v_0 = 3$  Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью 150 В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение, приобретаемое электроном; 3) скорость электрона через  $t = 0,1$  мкс.

1911. По двум прямым параллельным проводникам длиной 2 м каждый, находящимся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга, в противоположных направлениях текут токи  $I_1 = 40$  А и  $I_2 = 80$  А. Найти силу взаимодействия токов.

1912. Альфа- частица, кинетическая энергия которой равна 500 эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости ее движения. Индукция магнитного поля 10 Тл. Найти: 1) силу, действующую на частицу; 2) радиус окружности, по которой движется частица; 3) период обращения частицы.

## Литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики: В 3-х т. М.: Наука, 1977-1989.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М., Милковская Л. Б. Курс физики: В 3-х т. М.: Высшая школа, 1973-1989.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М.: Высшая школа, 1989.
4. Трофимова Т. И. Курс общей физики. М.: Высшая школа, 1985.
5. Чертов А. Е., Воробьев А. А. Задачник по физике. М.: Высшая школа, 1981.
6. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1979-1990.
7. Джуманалиев Н. Д., Кудобаев З. И., Тургумбаев К. Т., Абдразаков А. А. Механика, термодинамика, электромагнетизм: Рабочая программа, методические указания и контрольные задания 1 и 2 для студентов-заочников технологических и технических специальностей. Бишкек, КТУ, 1994.