**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ,  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**Ивановский институт ГПС МЧС России**

**Кафедра «Физика и теплотехника»**

А.А. Разумов

**Указания по изучению курса «ФИЗИКА»**

**для курсантов и слушателей специальности 280104.65 «Пожарная безопасность»**

Учебное пособие

Иваново 2009

ББК 24.2

Т41

УДК 547

Учебное пособие «Указания по изучению курса "Физика " для курсантов и слушателей специальности 280104.65 -Пожарная безопасность» предназначено для оказания методической помощи при самостоятельном изучении основных разделов физики, выполнении лабораторного практикума, контрольных работ.

Материал пособия состоит из общих методических указаний по самостоятельной теоретической подготовке, методике решения задач контрольных работ; программы теоретических вопросов разделов физики, изучаемых в высшем техническом учебном заведении. Даны указания к решению задач, раскрыт физический смысл всех понятий и величин, использованных в формулировках физических законов. Предложены примеры решения задач разделов физики.

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к публикации кафедрой «Физика и теплотехника», протокол № 5 от 23 декабря 2008 года.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета института.

Рецензенты:

Заведующий кафедрой общей физики ИвГУ, доцент Л.И.Минеев

Заведующий кафедрой ВЭТФ ИГЭУ, д.т.н. профессор Ю.А. Митькин

**©**Ив ИГПС МЧС России, 2009

**Введение**

Учебное пособие написано в соответствии с действующей программой курса физики для инженерно- технических специальностей высших учебных заведений и предназначено для курсантов, слушателей высших технических учебных заведений дневной формы обучения с ограниченным числом часов по физике, с возможностью его использования на заочной форме обучения.

Небольшой объем учебного пособия достигнут за счет тщательного отбора материала и его лаконичного изложения.

Книга состоит из четырех частей. В первой части указаны цели и задачи дисциплины; знания, умения и навыки, которые учащиеся приобретают и формируют, соответственно, как с помощью преподавателей физики, так и самостоятельно. На основе примерной программы разрабатывается рабочая программа. Раскрыты содержание тем дисциплины, определены знания, умения, представления и умения применять знания на практике. Рекомендована основная и дополнительная литература, освещены тематика рефератов, лабораторных работ, темы практических знаний, перечень вопросов к семестровым экзаменам. Завершается первая часть примерным перечнем контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы учащихся.

Во второй части пособия описаны основные формы и методы подготовки курсантов, слушателей как дневной, так и заочной форм обучения. Основное внимание уделяется самостоятельной подготовке, освоению методики этой работы. В сочетании с изучением примеров решения задач, приведенных в данном пособии, предложенная методика самостоятельной работы весьма эффективна.

Третья часть содержит программы теоретических вопросов разделов «Механика и теория относительности», «Основы термодинамики. Электричество», изучаемых слушателями заочного отделения. Даны краткие теоретические основы разделов, а также указания к решению задач с примерами. Несомненно, материалы третьей части, как и следующей, четвертой, будут полезны для использования их на дневной форме обучения.

Четвертая часть пособия посвящена разделам «Магнетизм. Электромагнитные волны. Начала квантовой физики», «Квантовая физика. Атом и ядро». В конце обеих частей приведены таблицы вариантов контрольных работ и содержание текста задач к работам.

Автор выражает глубокую признательность коллегам и рецензентам, принявшим участие в оформлении пособия, высказавшим свои замечания и пожелания.

**Часть 1. Предмет и задачи курса «Физика».**

Пособие по изучению дисциплины "Физика" составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования второго поколения по специальности 280104.65, который и определяет содержание и структуру дисциплины.

**Цели дисциплины:** обеспечить усвоение основных физических явлений и законов классической и современной физики, методов физического исследования; ознакомить курсантов (слушателей) с современной научной аппаратурой и выработать у курсантов (слушателей) начальные навыки проведения экспериментальных научных исследований различных физических явлений и оценки погрешности измерений; заложить основы для профессиональной подготовки будущего инженера пожарной техники, дать теоретическую базу, позволяющую курсанту (слушателю) свободно ориентироваться в частных вопросах, возникающих в процессе подготовки по общетехническим («Физика», «Прикладная механика», «Материаловедение») и профилирующим дисциплинам института («Пожарное водоснабжение», «Физико-химические основы развития и прекращения горения», «Пожарная безопасность в технологических процессах») в практической работе.

**Задачи дисциплины:** научить будущих специалистов приемам и навыкам решения конкретных задач из разных областей физики, помогающих в дальнейшем решать задачи пожарной безопасности.

Курс физики изучается в течение первого и второго семестров первого года обучения и первого семестра второго года обучения, состоит из трех частей и семнадцати тем, рассчитан на 170 ч. аудиторных занятий. Они охватывают теоретические основы классической и современной физики и направления ее дальнейшего развития, с учетом специализации института. Основные теоретические положения по изучаемым темам излагаются курсантам на лекциях, которые являются одной из основных форм обучения. Лекционные занятия дополняют семинары и уроки, имеющие тесную связь с темами лекций. Предусмотрен контроль за самостоятельной работой курсантов: письменные контрольные работы, собеседование по индивидуальному плану. Физический практикум представлен лабораторными работами. Они призваны формировать у курсантов навыки экспериментальных исследований и умение работать с физическими приборами и оборудованием. По итогам 1 и 3 семестра сдается экзамен.

В результате изучения курса физики курсант должен

**Знать:**

- физические идеи, опытные факты, понятия, законы, которые курсанты должны применять для объяснения физических процессов, свойств вещества, технических устройств и т. д.;

- приборы и устройства, которыми курсанты должны уметь пользоваться, физические величины, которые курсанты должны определять опытным путем и др.;

- основные типы задач, формулы, которые курсанты должны уметь применять при решении вычислительных практических задач, физические процессы, технические устройства, которые могут являться объектами рассмотрения в качественных задачах.

**Уметь:**

- собирать экспериментальные установки и схемы, измерять физические характеристики, обсчитывать полученные результаты и интерпретировать их;

- переводить единицы измерений физических величин из одной системы единиц в другие;

- решать качественные, количественные, расчетные и экспериментальные задачи;

- объяснять наблюдаемые физические явления с позиций современной физической картины мира.

**Иметь представление:**

- о структуре и содержании курса и отдельно его разделов;

- о роли зарубежных и российских ученых-физиков в развитии цивилизации, их вкладе в мировой прогресс;

- об основных физических принципах и теориях, о влиянии физики на развитие науки и техники;

- о применении теоретических знаний по физике и практических результатов в профессиональной деятельности будущих специалистов МЧС.

**Уметь применять:**

- полученные знания и сформированные умения и навыки в выполнении лабораторного практикума, профессиональных задач.

Изучение курса завершается сдачей экзамена.

На основе примерной программы разрабатывается рабочая программа, бюджет учебного времени на изучение дисциплины определяется рабочим учебным планом.

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (КУРСАНТЫ)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **тем** | **Наименование темы** | | **Всего**  **часов** | **Аудиторные занятия (час.) в том числе** | | | | | | | | | | | |
| **Лекции** | | **семи-**  **нары** | | | **ПЗ** | **ЛР** | | **КР** | | | Самос-тоятельная  работа |
| Раздел 1**. МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ** | | | | | | | | | | | | | | | |
| №1 | **Физические основы механики.**  Основные понятия кинематики. Системы отсчета.  Движущиеся СО | | 2 | 2 | | - | | | - | - | | - | | | 4 |
| №2 | **Меры механического движения.**  Импульс, энергия.  Работа силы. | | 4 | 2 | | 2 | | | - | - | | - | | | 8 |
| №3 | | **Законы динамики.**  Законы сохранения. Основы релятивистской механики | 14 | 6 | | 2 | | | 2 | 4 | | - | | | 6 |
| №4 | | **Механика жидкостей и газов**  **газов.** | 6 | 2 | |  | | | 4 | - | |  | | | 6 |
|  | | **Контрольная работа по механике** | 2 |  | |  | | |  |  | | 2 | | | 4 |
|  | | Итого по 1 разделу | 28 | 12 | | 4 | | | 6 | 4 | | 2 | | | 28 |
| Раздел 2**. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| №5 | | **Электростатика и магнитостатика** | 4 | | 2 | | 2 | - | | |  | | - | 8 | |
| №6 | | **Уравнения электродинамики Максвелла** | 4 | | 2 | | 2 |  | | |  | | - | 10 | |
| №7 | | **Физика колебаний и волн** | 16 | | 6 | | 4 | 2 | | | 4 | |  | 10 | |
|  | | **Контрольная работа по электродинамике** | 4 | |  | |  |  | | |  | | 4 |  | |
|  | | Итого по 2 разделу | 28 | | 10 | | 8 | 2 | | | 4 | | 4 | 28 | |
|  | | Всего по I семестру | 56 | | 22 | | 12 | 8 | | | 8 | | 6 | 56 | |
| Раздел 3**. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| №8 | | **Молекулярно-кинетическая теория идеального газа** | 10 | | 2 | | 4 |  | | | 4 | | - | 10 | |
| №9 | | Основы термодинамики | 12 | | 2 | | 4 | 2 | | | 4 | |  | 12 | |
| №10 | | Реальные газы | 4 | | 2 | | 2 |  | | |  | |  | 4 | |
| **№11** | | **Второе начало термодинамики** | 8 | | 4 | | 2 | - | | | 2 | | - | 8 | |
| **Раздел 4. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **№12** | | **Квантовая физика** | 16 | | 8 | | 4 | - | | | 4 | |  | 14 | |
| **№13** | | **Волновые свойства микрочастиц** | 12 | | 6 | | 4 | - | | | 2 | |  | 12 | |
| **Раздел 5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **№14** | | **Статистическая физика и термодинамика.** | 14 | | 6 | | 4 | - | | | 4 | |  | 12 | |
|  | | **Контрольная работа** | 4 | |  | |  |  | | |  | | 4 | 6 | |
|  | | **Итого по II семестру** | 80 | | 30 | | 24 | 2 | | | 20 | | 4 | 78 | |
| **Раздел 6. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **№15** | | **Физика атомного ядра.** | 12 | | 6 | | 4 | - | | | - | | 2 | 12 | |
| **Раздел 7. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬОСТИ** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **№16** | | **Элементы теории относительности** | 8 | | 4 | | 4 | - | | | - | | - | 10 | |
| **Раздел 8. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **№17** | | **Элементы физики твердого тела.** | 14 | | 4 | | 2 | 2 | | | 6 | |  | 14 | |
|  | | **Итого по III семестру** | 34 | | 14 | | 10 | 2 | | | 6 | | 2 | 36 | |
|  | | **Итого по курсу** | 170 | | 66 | | 46 | 12 | | | 34 | | 12 | 170 | |

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (СЛУШАТЕЛИ ФЗО)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  темы | Наименование темы | | Всего  часов | Из них на: | | | | |
| лекции | практич  занятия | лаб.  раб. | контр  раб. | Самос-  тояте-  льная  подго-товка. |
| Раздел 1**. МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ** | | | | | | | | |
| №1 | Механика Ньютона как частный случай СТО | | 6 | 2 | - | 4 | - | 40 |
|  | Итого по 1 разделу | | 6 | 2 |  | 4 |  | 40 |
| Раздел 2.**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА** | | | | | | | | |
| №2 | Молекулярная физика | | 5 | 1 | - | 4 | - | 40 |
|  | Итого по 2 разделу | | 5 | 1 |  | 4 |  | 40 |
| Раздел 3. **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА** | | | | | | | | |
| №3 | | Основы термодинамики | 1 | 1 | - | - | - | 40 |
|  | | Итого по 3 разделу | 1 | 1 |  |  |  | 40 |
| Раздел 4.**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ** | | | | | | | | |
| №4 | | Уравнения электродинамики | 6 | 2 | 4 |  |  | 42 |
|  | | Итого по 4 разделу | 6 | 2 | 4 |  |  | 42 |
|  | | Всего по I семестру | 18 | 6 | 4 | 8 |  | 162 |
| Раздел 5. **КВАНТОВАЯ ФИЗИКА** | | | | | | | | |
| №5 | Квантовая физика | | 6 | 2 | - | 4 | - | 48 |
|  | Итого по 5 разделу | | 6 | 2 |  | 4 |  | 48 |
| Раздел 6. **ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ** | | | | | | | | |
| №6 | | **Волновые свойства микрочастиц** | 4 | 2 | 2 |  | - | 48 |
|  | | Итого по 6 разделу | 4 | 2 | 2 |  |  | 48 |
| Раздел 7. **ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА** | | | | | | | | |
| №7 | | **Физика атома и ядра** | 6 |  | 2 | 4 |  | 48 |
|  | | Итого по 7 разделу | 6 |  | 2 | 4 |  | 48 |
|  | | Всего по II семестру | 16 | 4 | 4 | 8 |  | 144 |
|  | | Всего по курсу | 34 | 10 | 8 | 16 |  | 306 |

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (СЛУШАТЕЛИ)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **темы** | **Наименование**  **темы** | **Всего**  **часов** | **Аудиторные занятия (час.) в том числе** | | | | | | | | | | | |
| **Лекц** | | **Урок** | | | **ПЗ** | **ЛР** | | **КР** | | | **Самостоятельная**  **работа** |
| Раздел 1**. МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ** | | | | | | | | | | | | | | |
| №1 | **Физические основы механики.**  Основные понятия кинематики. Системы отсчета.  Движущиеся СО | 2 | 2 | | - | | | - | - | | - | | | 6 |
| №2 | **Меры механического движения.**  Импульс, энергия.  Работа силы. | 6 | 2 | |  | | | 4 |  | | - | | | 6 |
| №3 | **Законы динамики.**  Законы сохранения. Основы релятивистской механики | 26 | 12 | |  | | | 6 | 8 | | - | | | 6 |
| №4 | **Механика жидкостей и**  **газов.** | 14 | 6 | |  | | | 4 | 4 | |  | | | 6 |
|  | Итого по 1 разделу | 48 | 22 | |  | | | 14 | 12 | |  | | | 24 |
| Раздел 2**. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА** | | | | | | | | | | | | | | |
| №5 | **Электростатика и магнитостатика** | 24 | | 14 | |  | 6 | | | 4 | | - | 10 | |
| №6 | **Физика колебаний и волн** | 18 | | 8 | |  | 4 | | | 4 | | 2 | 12 | |
|  | Итого по 2 разделу | 42 | | 22 | |  | 10 | | | 8 | | 2 | 22 | |
|  | Всего по I семестру | 90 | | 44 | |  | 24 | | | 20 | | 2 | 46 | |
| Раздел 3**. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА** | | | | | | | | | | | | | | |
| №7 | Статистическая физика и термодинамика | 6 | | 4 | | - | 2 | | | - | | - | 8 | |
| Раздел 4. **ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА** | | | | | | | | | | | | | | |
| №8 | **Физика атома и атомного ядра.** | 38 | | 16 | |  | 10 | | | 12 | |  | 8 | |
| Раздел 4. **ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬОСТИ** | | | | | | | | | | | | | | |
| №9 | **Элементы теории относительности** | 10 | | 4 | |  | 6 | | | - | |  | 8 | |
| Раздел 5. **ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА** | | | | | | | | | | | | | | |
| №10 | **Элементы физики твердого тела**. | 14 | | 6 | |  | 2 | | | 4 | | 2 | 8 | |
| Раздел 6. **ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ** | | | | | | | | | | | | | | |
| №11 | **Волновые свойства микрочастиц** | 12 | | 10 | |  | 2 | | |  | |  | 8 | |
|  | **Итого по II семестру** | 80 | | 40 | |  | 22 | | | 16 | | 2 | 40 | |
|  | **Итого по курсу** | 170 | | 84 | |  | 46 | | | 36 | | 4 | 86 | |

СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

**Тема № 1. Физические основы механики.**

Основные понятия и законы механики. Кинематика материальной точки. Принцип относительности в механике. Уравнения движения. Системы отсчета. Движущиеся системы отсчета.

По данной теме читается лекция.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** фундаментальные понятия и законы механики.

**Уметь:** решать задачи кинематики и выполнять практические задания по теме.

**Иметь представление:** о структуре раздела, границах применимости законов и теорий.

**Уметь применять:** законы механики для решения профессиональных задач.

Литература: основная (1,2,3), дополнительная (1,4).

**Тема № 2. Меры механического движения.**

Взаимодействие тел. Импульс тела. Импульс силы. Понятие состояния в классической механике. Энергия. Механическая энергия и ее виды. Потенциальная энергия и кинетическая энергия. Работа силы. Закон сохранения и превращения полной механической энергии.

По данной теме читается лекция, проводится занятие по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия динамики, законы сохранения.

**Уметь:** решать задачи динамики.

**Иметь представление:** о мерах движения в механике

**Уметь применять:** законы динамики при выполнении лабораторных работ, решении профессиональных заданий.

Литература: основная (1,2,3), дополнительная (2-4).

**Тема № 3. Законы динамики.**

Понятие инерциальной системы отсчета. Закон инерции. Закон сохранения импульса механической системы материальных точек. Закон изменения импульса механической системы (тела) – второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона Основы релятивистской механики. Релятивистский импульс. Законы сохранения в релятивистской механике.

Кинематика и динамика твердого тела. Кинематика поступательного и вращательного движения твердого тела. Основные характеристики вращательного движения. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Момент инерции материальной точки (твердого тела). Момент импульса материальной точки (твердого тела). Закон изменения вращательного импульса твердого тела. Закон сохранения момента импульса твердого тела. Кинетическая энергия вращательного движения твердого тела. Расчет момента инерции тел простейшей формы.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные законы динамики поступательного и вращательного движений.

**Уметь:** решать задачи динамики поступательного и вращательного движений материальной точки, твердого тела.

**Иметь представление:** о взаимосвязи законов динамики, границах их применимости.

**Уметь применять:** законы динамики при выполнении лабораторных работ, решении профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (3,4,7).

**Тема № 4. Механика жидкостей и газов.**

Основные положения аэро – и гидростатики. Кинематика и динамика жидкостей и газов. Элементы гидродинамики. Уравнение непрерывности. Формула Бернулли и выводы и нее. Уравнение Эйлера. Течение вязкой жидкости. Понятие градиента. Внутреннее трение (вязкость). Уравнение Ньютона. Динамическая и статическая вязкости. Формулы Пуазейля и Стокса.

По данной теме читается лекция, проводится занятие по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия гидростатики и гидродинамики, законы этих учений.

**Уметь:** решать задачи механики жидкостей и газов, в том числе и экспериментальные задачи.

**Иметь представление:** о применении положений механики жидкостей и газов на практике, в частности, в устройствах пожарной безопасности.

**Уметь применять:** основные положения механики жидкостей и газов при выполнении лабораторных работ и профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1,4).

Раздел 2. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

**Тема № 5. Электростатика и магнитостатика в вакууме и веществе.**

Микроскопические носители электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона. Границы применимости. Поле неподвижных зарядов. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Потенциальная энергия. Понятие потенциала электрического поля. Нормировка потенциала.

Поле движущихся электрических зарядов. Формула Лоренца. Релятивистский характер магнитного поля. Закон Ампера. Характеристики магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Циркуляция вектора магнитной индукции по контуру. Законы электро- и магнитостатики Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.

По данной теме читается лекция и проводится занятие по решению задач.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия и законы электромагнитного взаимодействия.

**Уметь:** решать задачи электро- и магнитостатики, объяснять электромагнитные явления в природе.

**Иметь представление:** о природе электромагнитного поля, о роли системы отсчета при определении полей.

**Уметь применять:** законы классического электромагнетизма при выполнении экспериментальных заданий и практических профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (2,4).

**Тема № 6. Уравнения электродинамики Максвелла.**

Токи смещения. Полевые и материальные уравнения классического электромагнетизма.

Принцип относительности в электродинамике. Вектор Умова–Пойнтинга. Поток вектора

Умова–Пойнтинга сквозь замкнутую поверхность.

По данной теме читается лекция и проводится практическое занятие.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основы классического электромагнетизма, фундаментальные опыты электродинамики.

**Уметь:** решать задачи электродинамики.

**Иметь представление:** о передаче электромагнитной энергии, о взаимосвязи электрического и магнитного полей.

**Уметь применять:** законы электродинамики при выполнении экспериментальных заданий и профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (4,6).

**Тема № 7. Физика колебаний и волн.**

Гармонический и ангармонический осцилляторы. колебания в механике и электродинамике. Физический смысл спектрального разложения. Колебательный контур. Энергия колебательного контура. Свободные и затухающие электромагнитные колебания. Квазистационарные переменные токи. Цепи переменного тока.

Электромагнитная волна. Нормальные волны. Свойства волны и законы распространения. Кинетика волновых процессов. Интерференция волн. Пространственная и временная когерентности. Интерференция света. Дифракция волн. Метод зон Френеля. Дифракция света от щели и круглого отверстия. Дифракционная решетка, формула и характеристики. Элементы Фурье-оптики.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняются лабораторные работы.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия и законы физики колебаний и волн.

**Уметь:** решать качественные и количественные задачи физики колебаний и волн.

**Иметь представление:** о взаимосвязи колебательного и волнового движений, общности законов этих движений различной природы.

**Уметь применять:** законы физики колебаний и волн при выполнении лабораторных работ и решении профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (4,7).

Раздел 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

**Тема №8. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа (МКТ).**

Статистический метод исследования. Термодинамический метод исследования. Термодинамиче­ские параметры. Равновесные состояния и процессы, их изображение на термодинамических диаграммах. Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления и его сравнение с уравнением Клапейрона-Менделеева. Средняя кине­тическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование абсолютной температуры. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.

По данной теме читается лекция.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия и законы молекулярного движения в различных средах.

**Уметь:** решать качественные и количественные задачи МКТ.

**Иметь представление:** о процессах, происходящих на молекулярном уровне.

**Уметь применять:** законы идеального газа для решения экспериментальных задач , при выполнении профессиональных заданий.

Литература: основная (1-3), дополнительная (4,5).

**Тема №9. Основы термодинамики.**

Работа газа при изменении его объема. Количество теплоты. Теплоемкость. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа. Зависимость теплоемкости идеального газа от вида процесса. Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность. Границы применимости закона равнораспределения энергии и понятие о квантовании, энергия вращения и колебаний молекул.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные положения термодинамики (ТД), трех начал ТД, сущность метода.

**Уметь:** решать задачи ТД.

**Иметь представление:** о характере и направлении процессов , происходящих в природе.

**Уметь применять:** термодинамический метод при выполнении лабораторных работ и профессиональных заданий.

Литература: основная (1-3), дополнительная (2-4).

**Тема №10. Реальные газы.**

Отступления от законов идеальных газов.Реальные газы.Си­лы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Эффективный диаметр молекул. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазо­вые переходы 1 и 2 рода. Критическое состояние. Внутренняя энер­гия реального газа. Особенности жидкого и твердого состояний вещества.

По данной теме читается лекция.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** МКТ реальных газов, вопросы практического использования уравнения реальных газов.

**Уметь:** решать задачи реальных газов, находить постоянные величины, характеризующие конкретный реальный газ.

**Иметь представление:** о различии идеального и реального газов, диаграммах состояния реального газа.

**Уметь применять:** законы реальных газов при выполнении экспериментальных заданий и решении профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1,4).

**Тема №11. Второе начало термодинамики.**

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Второе начало термодинамики. Независимость цикла Карно от природы рабочего тела. Энтропия . Статистическое толкование второго начала термодинамики.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные понятия второго закона термодинамики, устройство и принцип действия тепловых (холодильных) машин.

**Уметь:** решать задачи второго начала термодинамики.

**Иметь представление:** о распространении положений термодинамики на изолированные и открытые системы.

**Уметь применять:** положения второго начала термодинамики при выполнении экспериментальных задач и прикладных заданий.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1-3).

Раздел 4. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

**Тема №12. Квантовая физика.**

Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества. Формула де Бройля. Соотношение неопределен­ностей как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств материи. Волновая функция и ее статистический смысл. Ограничен­ность механического детерминизма. Квантовые уравнения движения. Общее уравнение Шредингера. Принцип причинности в квантовой механике. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Свобод­ная частица. Туннельный эффект. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии и импульса частицы. Принцип соответствия Боря. Влияние формы «потенциаль­ной ямы» на квантование энергии частицы: линейный гармонический осциллятор, атом водорода. Главное, орбитальное и магнит­ное квантовые числа. Энергетический спектр атомов молекул. Природа химической связи.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные положения квантовой физики, экспериментальные доказательства квантовой теории.

**Уметь:** решать качественные и количественные задачи квантовой физики.

**Иметь представление:** о характере процессов, объясняемых квантовой теорией.

**Уметь применять:** законы квантовой физики при выполнении лабораторных работ и профессиональных задач.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1,4,6).

**Тема №13. Волновые свойства микрочастиц.**

Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спектры атома и молекул. Комбинационное рассеяние света. Понятие о парамагнитном резонансе. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Принцип детального равновесия и формула Планка. Лазер.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные положения квантовой механики, физический смысл волновой функции.

**Уметь:** решать задачи волновой механики, интерпретировать спектры атомов и молекул.

**Иметь представление:** о характере движения в микромире и принципах его описания.

**Уметь применять:** основные положения квантовой механики для объяснения явлений, происходящих в мире частиц.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1,2,4,7).

Раздел 5**.** СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ТЕРМОДИНАМИКА

**Тема №14. Статистическая физика и термодинамика.**

Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Принцип детального равновесия. Барометрическая формула. Закон Больцмана для рас­пределения частиц во внешнем потенциальном поле. Термодинамические функции состояния. Фазовые равновесия и фазовые превращения. Элементы неравновесной термодинамики. Классическая и квантовая статистики. Кинетические явления. Системы заряженных частиц. Конденсированное состояние.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** сущность статистического и термодинамического методов.

**Уметь:** решать задачи статистической физики и термодинамики.

**Иметь представление:** о фазовых равновесиях и превращениях, кинетических явлениях.

**Уметь применять:** основные положения статистической физики при выполнении лабораторных работ.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1 – 6).

Раздел 6. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

**Тема № 15. Физика атомного ядра.**

Основные характеристики ядра. Протонно-нейтронная структура ядра. Состав ядра. Работы Иваненко и Гейзенберга. Нуклоны. Взаимодействие нуклонов и понятие о свойствах и природе ядерных сил. Дефект массы и энергия связи ядра. Закономерности и происхождение альфа-, бета- и гамма-излучения атомных ядер. Общая характеристика радиоактивности. Прохождение тяжелых частиц, бета – и гамма – излучения через вещество. Ядерные реакции и законы сохранения. Реакция деления ядра. Цепная реакция деления. Понятие о ядерной энергетике. Реакция синтеза атомных ядер. Термоядерные реакции. Элементарные частицы. Классы элементарных частиц. Виды взаимодействия. Понятие об основных проблемах современной физики и астрофизики.

По данной теме читаются лекции, проводятся занятия по решению задач и выполняются лабораторные работы.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** структуру и свойства атомных ядер, частиц, образующих ядро; явления, происходящие при ядерных превращениях.

**Уметь:** решать задачи физики атомного ядра и элементарных частиц. **Иметь представление:** о явлении радиоактивности, ядерных и термоядерных реакциях, классах частиц и видах взаимодействия.

**Уметь применять:** основные законы и теории физики ядра при выполнении лабораторных работ и профессиональных заданий.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1-4).

Раздел 7. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬОСТИ

**Тема № 16. Элементы теории относительности.**

Преобразование Галилея. Механический принцип относитель­ности. Постулаты специальной теория относительности. Преобразо­вание Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал между событиями и его инва­риантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчета как положение взаимосвязи пространства и времени. Релятивист­ский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия связи системы. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Принцип эквивалентности. Понятие об общей теории относительности. Границы применимости класси­ческой механики.

По данной теме читаются лекции.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** основные положения общей о специальной теорий относительности.

**Уметь:** решать качественные и количественные задачи СТО.

**Иметь представление:** о структуре общей теории относительности и границах применимости теорий.

**Уметь применять:** знания СТО и ОТО при решении практических задач. Литература: основная (1-3), дополнительная (1-5).

Раздел 8. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Тема №17. Элементы физики твердого тела.**

Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная проводи­мость полупроводников. Квазичастицы-электроны проводимости и дырки. Эффективная масса электрона в кристалле. Примесная проводимость полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контактные явления. Контакт электронного и дырочного полупроводников (p-h - переход) и его вольтамперная ха­рактеристика. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Люминесценция твердых тел.

По данной теме читаются лекции и выполняется лабораторная работа.

По изучению темы курсант (слушатель) должен

**Знать:** зонную теорию проводимости, современные методы исследования физики твердого тела.

**Уметь:** решать задачи физики твердого тела,

**Иметь представления:** об энергетических зонах в кристаллах, о механизме проводимости в различных материалах.

**Уметь применять:** квантовую теорию проводимости при выполнении лабораторных работ и профессиональных заданий.

Литература: основная (1-3), дополнительная (1-4).

**Список рекомендуемой литературы:**

Основная литература:

1. Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 542с.: ил.
2. Трофимова Т. И., Павлова З. Г. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 2003. – 591с.: ил.
3. Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике: Учеб. пособие для вузов. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. – 640 с.

Дополнительная литература:

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Учеб. пособие для вузов в 5 т. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002.
2. Бондарев Б. В., Калашников Н. П., Спирин Г. Г. Курс общей физики. В 3 кн. – М.: Высш. шк., 2003.
3. Кингсепп А. С., Локшин Г. Р., Ольхов О. А. Основы физики. Курс общей физики: Учеб. пособие в 2 т. /Под ред. А. С. Кингсеппа. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
4. Савельев И. В. Курс общей физики в 5 кн. Учеб. пособие для втузов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004.
5. Задачи по общей физике /Белонучкин В. Е., Заикин Д. А., Кингсеп А. С., Локшин Г. Р., Ципенюк Ю. М. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 336 с.
6. Сборник задач и вопросов по физике /Н. Г. Птицына, И. И. В. Соина, Г. Н. Гольцман и др.; Под ред. Е. М. Гершензона. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 328 с.
7. Кошкин Н. И., Васильчикова Е. Н. Элементарная физика: Справочник. – М.: Высш. шк., 2003. – 261 с.: ил.

**Тематика рефератов**

1. Современная физическая картина мира.

2. Проблемы создания рентгеновских и гамма-квантовых генераторов.

3. Туннельный эффект в приборах пожарной автоматики.

4. Физические принципы прогнозирования пожаров и стихийных бедствий.

5. Термодинамика в решении вопросов пожаротушения.

## Перечень вопросов к экзамену за первый семестр

1.Основные понятия и законы механики. Кинематика материальной точки.

2.Принцип относительности в механике. Системы отсчета. Движущиеся системы отсчета.

3.Взаимодействие тел. Импульс тела. Импульс силы.

4.Понятие состояния в классической механике. Энергия. Механическая энергия и ее виды. Потенциальная энергия и кинетическая энергия.

5.Работа силы. Закон сохранения и превращения полной механической энергии.

6.Понятие инерциальной системы отсчета. Закон инерции. Закон сохранения импульса механической системы материальных точек. Второй закон Ньютона.

7.Третий закон Ньютона Основы релятивистской механики. Релятивистский импульс. Законы сохранения в релятивистской механике.

8.Кинематика и динамика твердого тела. Кинематика поступательного и вращательного движения твердого тела. Основные характеристики вращательного движения. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела.

9.Момент инерции материальной точки (твердого тела). Момент импульса материальной точки (твердого тела). Закон изменения вращательного импульса твердого тела.

10.Закон сохранения момента импульса твердого тела. Кинетическая энергия вращательного движения твердого тела. Расчет момента инерции тел простейшей формы.

11.Основные положения аэро – и гидростатики. Элементы гидродинамики. Уравнение непрерывности. Формула Бернулли и выводы ее.

12.Уравнение Эйлера. Течение вязкой жидкости. Понятие градиента. Внутреннее трение (вязкость).

13.Уравнение Ньютона. Динамическая и статическая вязкости. Формулы Пуазейля и Стокса.

14.Молекулярно-кинетическая теория идеального газа (МКТ). Идеальный газ и его модель. Основное уравнение газового состояния. Экспериментальные подтверждения уравнения.

15.Основное уравнение МКТ - уравнение Клаузиуса. Понятие температуры. Теорема Больцмана о равномерном распределении энергии.

16. Реальные газы. Межмолекулярное взаимодействие. Уравнение Ван – дер – Ваальса. Критическое состояние.

17.Первое начало термодинамики. Понятие внутренней энергии, количества теплоты и работы. Изопроцессы в идеальном газе.

18.Адиабатный процесс. Уравнение Пуассона.. Политропный процесс.

19.Второе начало термодинамики. Теорема Карно. Теорема Клаузиуса. Основное уравнение термодинамики.

20.Термодинамические потенциалы. Свободная энергия. Энтропия. Энтальпия.

21.Статистический метод в молекулярной физике. Классическая и квантовая статистики. Распределение Лапласа- Больцмана.

22.Распределение Максвелла. Статистический характер 2 начала термодинамики.

23.Распределение Максвелла. Статистический характер 2 начала термодинамики.

24.Кинетические явления. Диффузия. Уравнение Фика.

25.Теплопроводность. Формула Фурье. Вязкость. Уравнение Ньютона.

26.Микроскопические носители электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона. Границы применимости.

27.Поле неподвижных зарядов. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Потенциальная энергия. Понятие потенциала электрического поля. Нормировка потенциала.

28.Закон Ампера. Характеристики магнитного поля. Закон Био-Савара- Лапласа.

29.Циркуляция вектора магнитной индукции по контуру. Законы электро - и магнитостатики Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.

30.Токи смещения. Полевые и материальные уравнения классического электромагнетизма.

31.Принцип относительности в электродинамике. Вектор Умова – Пойнтинга.

32.Поток вектора Умова – Пойнтинга сквозь замкнутую поверхность.

33.Гармонический и ангармонический осцилляторы. колебания в механике и электродинамике.

34.Колебательный контур. Энергия колебательного контура. Свободные и затухающие электромагнитные колебания.

35.Квазистационарные переменные токи. Цепи переменного тока.

36.Электромагнитная волна. Свойства волны и законы распространения.

37.Кинетика волновых процессов. Интерференция волн. Пространственная и временная когерентности Интерференция света.

38.Дифракция волн. Метод зон Френеля. Дифракция света от щели и круглого отверстия.

39.Дифракционная решетка, формула и характеристики.

40.Дифракция рентгеновских волн от кристалла.

**Перечень вопросов к экзамену за второй семестр**

1.Статистический метод исследования.

2.Термодинамический метод исследования.

3.Термодинамиче­ские параметры.

4.Равновесные состояния и процессы, их изображение на термодинамических диаграммах.

5.Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления и его сравнение с уравнением Клапейрона-Менделеева.

6.Средняя кине­тическая энергия молекул.

7.Молекулярно-кинетическое толкование абсолютной температуры.

8.Число степеней свободы молекулы.

9.Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.

10.Работа газа при изменении его объема.

11.Количество теплоты.

12.Теплоемкость.

1. Первое начало термодинамики.

13.Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа.

14.Зависимость теплоемкости идеального газа от вида процесса.

15.Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность.

16.Границы применимости закона равнораспределения энергии и понятие о квантовании, энергия вращения и колебаний молекул.

17.Отступления от законов идеальных газов.Реальные газы.

18.Си­лы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия.

19.Эффективный диаметр молекул.

20.Уравнение Ван-дер-Ваальса.

21.Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными.

22.Фазо­вые переходы 1 и 2 рода.

23.Критическое состояние.

24.Внутренняя энер­гия реального газа.

25.Особенности жидкого и твердого состояний вещества.

26.Обратимые и необратимые процессы.

27.Круговой процесс (цикл).

28.Тепловые двигатели - и холодильные машины.

29.Цикл Карно и его КПД для идеального газа.

30.Второе начало термодинамики.

31.Независимость цикла Карно от природы рабочего тела.

32.Энтропия. Энтропия идеального газа.

33.Статистическое толкование второго начала термодинамики.

34.Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества.

35.Формула де Бройля.

36.Соотношение неопределен­ностей как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств материи.

37.Волновая функция и ее статистический смысл.

38.Ограничен­ность механического детерминизма.

39.Общее уравнение Шредингера.

40.Принцип причинности в квантовой механике.

41.Стационарные состояния.

42.Уравнение Шредингера для стационарных состояний.

43.Свобод­ная частица.

44.Туннельный эффект.

45.Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме».

46.Квантование энергии и импульса частицы.

47.Принцип соответствия Боря.

48.Влияние формы «потенциаль­ной ямы» на квантование энергии частицы: линейный гармонический осциллятор, атом водорода.

49.Главное, орбитальное и магнит­ное квантовые числа.

50.Опыт Штерна и Герлаха.

51.Спин электрона.

52. Спиновое квантовое число.

53.Принцип неразличимости тождественных частиц.

54.Фермионы и бозоны.

55.Принцип Паули.

56.Распределение электронов в атоме по состояниям.

57.Понятие об энергетических уровнях молекул.

58.Спектры атома и молекул.

59.Комбинационное рассеяние света.

60.Понятие о парамагнитном резонансе.

61.Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения.

62.Принцип детального равновесия и формула Планка. Лазер.

63.Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения.

64.Принцип детального равновесия.

65.Барометрическая формула.

66.Закон Больцмана для рас­пределения частиц во внешнем потенциальном поле.

67.Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул.

68.Время релаксации.

69.Явления переноса в неравновесных системах.

70.Опытные законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения.

71.Молекулярно-кинетическая теория этих явлений.

**Перечень вопросов к экзамену за третий семестр**

1.Заряд, размер и масса атомного ядра.

2.Массовое и зарядовое числа.

3.Момент импульса ядра и его магнитный момент.

4.Состав ядра.

5.Работы Иваненко и Гейзенберга.

6.Нуклоны.

7.Взаимодействие нуклонов и понятие о свойствах и природе ядерных сил.

8.Дефект массы и энергия связи ядра.

9.Закономерности и происхождение альфа-, бета- и гамма-излучения атомных ядер. Ядерные реакции и законы сохранения.

10Реакция деления ядра.

11.Цепная реакция деления.

12.Понятие о ядерной энергетике.

13.Реакция синтеза атомных ядер.

14.Проблема управляемых термоядерных реакций.

15.Элементарные частицы.

16.Классы частиц. Виды взаимодействия.

17.Четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильные, электромагнитные, слабые и гравитационные.

18.Понятие об основных проблемах современной физики и астрофизики.

19.Преобразование Галилея.

20.Механический принцип относитель­ности.

21.Постулаты специальной теория относительности.

22.Преобразо­вание Лоренца.

23.Понятие одновременности.

24.Относительность длин и промежутков времени.

25.Интервал между событиями и его инва­риантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчета как положение взаимосвязи пространства и времени.

26.Релятивист­ский закон сложения скоростей.

27.Релятивистский импульс.

28.Основной закон релятивистской динамики материальной точки. 29.Релятивистское выражение для кинетической энергии.

30.Взаимосвязь массы и энергии.

31.Энергия связи системы.

32.Соотношение между полной энергией и импульсом частицы.

33.Принцип эквивалентности.

34.Понятие об общей теории относительности.

35.Границы применимости класси­ческой механики.

36.Энергетические зоны в кристаллах.

37.Распределение электронов по энергетическим зонам.

38.Валентная зона и зона проводимости.

39.Металлы, диэлектрики и полупроводники.

40.Собственная проводи­мость полупроводников.

41.Квазичастицы-электроны проводимости и дырки.

42.Эффективная масса электрона в кристалле.

43.Примесная проводимость полупроводников.

44.Электронный и дырочный полупроводники.

45.Контактные явления.

46.Контакт электронного и дырочного полупроводников (p-h - переход) и его вольтамперная ха­рактеристика.

47.Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

48.Люминесценция твердых тел.

### ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1.Кинематика материальной точки и вращающегося твердого тела.

2.Законы Ньютона. Сила. Масса. Законы сил.

3.Законы сохранения в механике. Импульс. Энергия.

4.Динамика вращательного движения твердого тела. Момент инерции. Момент силы. Момент импульса.

5.Колебания материальной точки.

6.Уравнения состояния идеального газа. Изопроцессы в идеальном газе.

7.Основы молекулярно-кинетической теории вещества.

8.Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа. Теплоемкость.

9.Второе начало термодинамики. Энтропия идеального газа. Тепловые двигатели.

10.Электрические заряды, их свойства. Особенности взаимодействия зарядов. Закон Кулона.

11.Напряженность потенциального электростатического поля. Принцип суперпозиции для электрических полей.

12.Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Гаусса.

13.Электрическая емкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля.

14.Постоянный электрический ток. Законы постоянного электрического тока.

15.Магнитное поле. Сила Лоренца. Сила Ампера.

16.Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции для магнитных полей.

17.Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Расчет индукции магнитного поля симметрично распределенных в пространстве токов.

18.Явление электромагнитной индукции. Энергия магнитного поля.

19.Волны в упругих средах.

20. Звуковые волны. Эффект Доплера.

21.Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.

22.Электромагнитные волны и их свойства.

23.Волновые свойства света.

24.Преобразование Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей.

25.Релятивистская динамика.

26.Квантовые свойства света.

27.Тепловое излучение.

28.Корпускулярно-волновой дуализм свойств вещества. Формула де Бройля. Соотношения неопределенностей.

29.Уравнения Шредингера для стационарных состояний. Свободная частица. Частица в глубокой потенциальной яме. Туннельный эффект.

30.Спектр излучения атома водорода. Квантовые числа.

31.Многоэлектронные атомы. Магнитные свойства многоэлектронных атомов.

32.Атомное ядро. Дефект массы и энергии связи ядра. Ядерные реакции и законы сохранения.

ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1.Изучение законов механики на машине Атвуда.

2.Проверка основного закона динамики вращательного движения твердого тела

3.Определение универсальной газовой постоянной.

4.Определение коэффициента Пуассона.

5.Изучение законов постоянного тока.

6.Исследование температурной зависимости проводимости металлов и полупроводников.

7.Изучение законов квантовой оптики.

8.Изучение законов излучения абсолютно твердого тела.

9.Изучение внешнего фотоэффекта.

10.Экспериментальное доказательство дискретного строения атома (установка Франка и Герца).

11.Изучение законов геометрической оптики.

12.Изучение явления интерференции света.

13.Изучение явления дифракции света.

14.Исследование характеристик дифракционной решетки.

**Примерный перечень контрольных вопросов и заданий**

**для самостоятельной работы учащихся**

1. Понятие инерциальной системы отсчета. Закон инерции. Закон сохранения импульса механической системы материальных точек. Второй закон Ньютона.

2. Кинематика и динамика твердого тела.. Кинематика поступательного и вращательного движения твердого тела. Основные характеристики вращательного движения. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела

3. Основные положения аэро – и гидростатики. Элементы гидродинамики. Уравнение непрерывности. Формула Бернулли и выводы и нее

4. Уравнение Эйлера. Течение вязкой жидкости. Понятие градиента. Внутреннее трение (вязкость).

5. Уравнение Ньютона. Динамическая и статическая вязкости. Формулы Пуазейля и Стокса.

6. Реальные газы. Межмолекулярное взаимодействие. Уравнение Ван – дер – Ваальса. Критическое состояние.

7. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия. Энтропия. Энтальпия.

8. Кинетические явления. Диффузия. Уравнение Фика

9. Теплопроводность. Формула Фурье. Вязкость. Уравнение Ньютона.

10. Токи смещения. Полевые и материальные уравнения классического электромагнетизма

11. Принцип относительности в электродинамике. Вектор Умова–Пойнтинга.

12. Квазистационарные переменные токи. Цепи переменного тока.

13. Электромагнитная волна. Свойства волны и законы распространения

14. Кинетика волновых процессов. Интерференция волн. Пространственная и временная когерентности. Интерференция света.

**Часть 2.Общие методические указания по изучению предмета «Физика».**

Основной формой подготовки курсантов и слушателей являются аудиторная и самостоятельная подготовки. Предусмотренные учебным планом лекции носят теоретический характер и вместе с лабораторными занятиями и консультациями завершают подготовку курсанта и слушателя к экзамену.

Допуском к экзамену является зачет по соответствующей части курса. Он выставляется при условии зачтения письменных контрольных работ после самостоятельного выполнения и усвоения лабораторных работ. Для успешного овладения вопросами учебной программы при подготовке к экзамену, зачету, выполнению контрольной или лабораторной работы необходимо придерживаться определенной методики этой работы. Она заключается в систематическом прорабатывании конспектов лекций, рекомендуемой основной и вспомогательной литературы, ведении кратких по формату и объему личных конспектов.

Важнейшим элементом этой методики является принцип: **запись в конспекте делается при закрытом учебнике, без заглядывания в него и без переписывания.** В конспекте в предельно краткой форме записываются (после прочтения параграфов, касающихся данного физического явления) ответы на три вопроса:

1) Краткое описание явления, поясняемое схемой, если это уместно.

2) Определения физических величин и понятий, связанных с изучаемым явлением.

3) Словесная и математическая формулировка законов или закономерностей, устанавливающих взаимосвязь физиче­ских величин в изучаемом явлении.

Очевидно, что настрой на ведение конспекта по изложенному принципу ориентирует уже при первом чтении учебного материала на четкое выделение и уяснение главного существа вопроса, сформулированного в приведенных трех пунктах. Это обстоятельство и обеспечивает экономию времени на учебную работу, несмотря на затраты времени при ведении записей в конспекте.

Очень полезно периодически перечитывать эти краткие записи и проводить «мысленный эксперимент» с аналитически зависимостями, выписанными в конспект. Для этого нужно задаться вопросом о том, как изменится та или иная зависимая величина при измерении в то или иное количество раз каких-либо независимых (или относительно независимых) величин. Разумеется, о каждой из них следует иметь четкое представление (а для векторных величин и направление) данной величины.

Предложенная методика самостоятельной работы в сочетании с изучением примеров решений задач, приведенных в данном пособии, позволит вам самостоятельно применить законы и закономерности физики практически, в решении задач контрольных работ. Умение **решать задачи - это основной критерий усвоения учебного материала.**

Решение любой задачи целесообразно выполнять в следующем порядке:

1)Уяснить существо физического процесса, составить схему.

2)Уяснить, какие законы или закономерности следует использовать в решении задачи.

3)Составить и решить уравнение (или систему уравнений) в общем виде.

4)Привести известные числовые данные к определенной системе единиц (преимущественно СИ).

5)Проверить расчетную формулу искомой величины анализом наименований единиц, подставляемых для ее вычисления.

6) Выполнить подстановку числовых значений физических величин и вычисление искомой величины.

Изложенные методические принципы не исключают возможности консультации учащихся по решениям тех или иных задач, если такая необходимость возникнет. **Условия задач следует переписывать полностью, без сокращений.** Решение задачи должно сопровождаться словесными пояснениями подобно тому, как это сделано в приведенных примерах решений.

При подстановке числовых значений величин необходимо пользоваться преимущественно системой СИ. Допускаются в отдельных случаях и другие (внесистемные) единицы, если проверка расчетной формулы подстановкой наименований единиц показывает, что применение внесистемных единиц не отразится на результате вычислений.

При подстановке, в ходе вычислений и при записи окончательного результата, следует числа записывать, как правило, в виде единиц, умноженных на соответствующие степени основания 10, используя три значащие цифры с учетом пра­вил округления. Например, число 0,0012873 следует записать 1,29\*10-3, а число 78336000 следует записать 7,83\*107. Такая запись упрощает вычисления, т. к. степенные сомножители, определяющие порядок величины, легко отдельно привести к результирующей степени, а вычисления вести только с числовыми сомножителями.

Например:  = 

Результирующая степень при основании 10



**Примеры оформления и решения задач**

**I. МЕХАНИКА**

**1.** Какую скорость приобретает ракета, движущаяся из состояния покоя с ускорением 60 *м/с2*, на пути 750 *м* ? За какое время будет достигнута такая скорость?

**Решение:**

Координатную ось *х* направим по направлению движения ракеты. Начало оси совместим с точкой *А*, из которой ракета начала движение. Векторы перемещения, скорости и ускорения совпадают по направлению с осью *х*. Следовательно, проекция вектора перемещения на ось *х* равна пройденному пути (*Sx = l*), проекции скорости и ускорения соответственно равны: *vx = v, ax = a*



Искомую скорость проще всего найти, используя соотношение:

*v2 = 2al,* а 



Время движения ракеты можно найти из соотношения:

*v = v0 + at,* так как v0 = 0, то



**2.** Сосуд, наполненный водой, сообщается с атмосферой через стеклянную трубку, закрепленную в горлышке сосуда. Кран находится на расстоянии **h2** = 2 см от дна сосуда. Найти скорость вытекания воды из крана, если расстояние между нижним концом трубки и дном сосуда **h1** = 10 см.

**Решение:**

По закону сохранения энергии Ек = Еп,

Еп = mg∆h = mg(h1 – h2)– потенциальная энергия водного столба над краном.

– кинетическая энергия вытекающей воды.

, , 

3. Найти работу **А**, которую надо совершить, чтобы увеличить скорость движения тела массой **m** = 1 т от ***v1*** = 2 *м/с* до ***v2*** = 6 *м/с* на пути **s** = 10 *м*. На всем пути действует сила трения **F** = 2 *Н*.

**Решение:**

Часть совершенной работы пойдет на приращение кинетической энергии, а другая часть – на преодоление силы трения. , где , тогда 

**4.**Деревянным молотком, масса которого ***m1*** = 0,5 кг, ударяют о неподвижную стенку. Скорость молотка в момент удара . Считая коэффициент восстановления при ударе молотка о стенку ***k*** = 0,5 , найти количество теплоты ***Q***, выделившееся при ударе. (Коэффициентом восстановления материала тела называют отношение скорости после удара к его скорости до удара).

**Решение:** По условию . Количество теплоты, выделившееся при ударе, равно убыли кинетической энергии молотка , где ; . Т.к. , то ; .

**5.** Ведерко с водой, привязанное к веревке длинной ***l*** = 60 см, равномерно вращается в вертикальной плоскости. Найти наименьшую скорость  вращения ведерка, при которой в высшей точке вода из него не выливается. Какова сила натяжения веревки ***Т*** при этой скорости в высшей и низшей точках окружности? Масса ведерка с водой ***m*** = 2 кг.



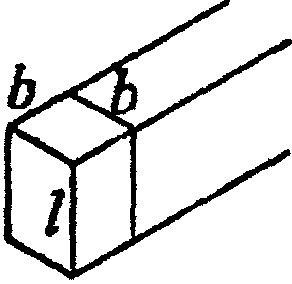
**Решение:** Поскольку вращение вокруг оси *О* является равнозамедленным, то . На воду в ведерке в высшей точке действует центробежная сила равная , направленная вверх и сила тяжести ***mg*** , направленная вниз. Вода не будет выливаться из ведерка при условии, что  или , откуда ; . В проекции на ось *y* уравнение движения ведра с водой в верхней точке: ****, в нижней точке ****. Учитывая, что , получим: в верхней точке ***Т*** *= 0*, в нижней точке ***Т*** *= 2mg = 39,2 H.*

**6.** Диск вращается вокруг вертикальной оси с частотой ***n*** = 30 об/мин. На расстоянии ***r*** = 20 см от оси вращения на диске лежит тело. Каким должен быть коэффициент трения ***k*** между телом и диском, чтобы тело не скатывалось с диска?

**Решение:** Решаем задачу в неинерциальной сис­теме отсчета, в системе диска, тогда при вращении диска на тело вдоль нормаль­ной оси действует центробежная сила ** и сила трения . Тело не будет соскальзывать с диска, если , т.е.  или . Т.к.  то ; 



**7.** Вода течет по каналу шириной ***b*** = 0,5м, располо­женному в горизонтальной плоскости и имеющему закругление радиусом ***R*** = 10м. Скорость течения воды = 5м/с. Найти боковое давление воды ***Р*** , вызванное центробежной силой.

**Решение:** Рассмотрим участок боковой поверхности ка­нала, площадь которого: ***S = bl***. Давление: ****, где ***Fцб*** по модулю  – масса воды в данном объеме. 

**8.** Найти работу ***А***, которую надо совершить, чтобы сжать пружину на ***l*** *=20* см, если известно, что сила ***F*** пропор­циональна сжатию ***l*** и жесткость пружины ***k*** == 2,94 кН/м.

**Решение:** Работа, совершаемая при сжатии пружины, определяется формулой  – (1), где ***l*** — сжатие. По условию сила пропорциональна сжатию, т.е. ***F = -kl*** – (2). Подcтавляя (2) в (1), получим 

**II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

**1.** Найти массу ***т*** воздуха, заполняющего аудиторию высотой ***h*** = 5м и площадью пола ***S*** = 200м2. Давление воздуха = 100кПа, температура помещения ***t*** =17 °С. Молярная масса воздуха *M* = 0,029 кг/моль.

**Решение:** Согласно уравнению Менделеева— Клапейрона *,* откуда . Объем комнаты ***V = hS*** *.* Тогда масса воздуха 

**2.**  Каков должен быть вес ***Р*** оболочки детского воздуш­ного шарика, наполненного водородом, чтобы результирующая подъемная сила шарика ***F*** = 0***,*** т.е. чтобы шарик находился во взвешенном состоянии? Воздух и водород находятся при нормальных условиях. Давление внутри шарика равно внешнему давлению. Радиус шарика ***r*** = 12,5 см.

**Решение:** Результирующая подъемная сила , где ***m1*** – масса воздуха в объеме шарика, ***m2 –***  масса водорода в объеме шарика. Так как ***F*** = 0, то *.*

Из уравнения Менделеева—Клапейрона найдем . Тогда 

**3.**  В запаянном сосуде находится вода, занимающая объем, равный половине объема сосуда. Найти давление ***р*** и плотность  водяного пара при температуре ***t*** = 400 °С, зная, что при этой температуре вся вода обращается в пар.

**Решение:** В начальном состоянии плотность воды  После нагревания  По условию , тогда  Запишем уравнение состояния водяного пара при ***Т*** = б73 К:  или . Поскольку  

**4.**  Закрытый сосуд объемом ***V*** *= 2*л наполнен воздухом при нормальных условиях. В сосуд вводится диэтиловый эфир (С2Н5ОС2Н5). После того как весь эфир испарился, давление в сосуде стало равным ***р*** = 0,14 МПа. Какая масса ***т*** эфира была введена в сосуд?

**Решение:** Согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, в на­чальный момент, когда сосуд был заполнен воздухом, . Когда в сосуд ввели диэтиловый эфир, *,* откуда . Молярная масса диэтилового эфира (С2Н5ОС2Н5) – М = 74\*10-3 кг/моль, соответственно ***т*** = 2,5 г.

**5.**  Молекула азота, летящая со скоростью  = 600 м/с, упруго ударяется о стенку сосуда по нормали к ней. Найти импульс силы ***F∆t***, полученный стенкой сосуда за время удара.

**Решение:** Запишем второй закон Ньютона в виде ***F*** =  –*,* отсюда ***F∆t*** = m∆ – (1). Поскольку удар был упругий и происходил по нормали к стенке, то скорость молекулы после удара равна по модулю скорости до удара и противо­положна по направлению. Тогда  – (2). Масса молекулы  – (3), где ***М*** – молярная масса азота, ***NA –*** число Авогадро. Подставив (2) и (3) в (1), получим ***F∆t = F∆t*** = 5,6\*10-23 Н\*с.

**6.** Для получения хорошего вакуума в стеклянном сосуде необходимо подогревать стенки сосуда при откачке для удаления адсорбированного газа. На сколько может повыситься давление в сферическом сосуде радиусом ***r*** = 10 см, если адсорби­рованные молекулы перейдут со стенок в сосуд? Площадь поперечного сечения молекул ***s0*** = 10-19 м2. Температура газа в сосуде ***t*** = 300 °С. Слой молекул на стенках считать мономолекулярным.

**Решение:** Давление ***р*** газа в сосуде связано с числом молекул ***п*** в единице объема сосуда соотношением ***p = nkT*** или  – (1), где ***N*** *—* число молекул в объеме — (2). По условию эти ***N*** молекул образуют мономолекулярный слой, следовательно, *N* =  , где  – (3). Подставляя (2) и (3) в (1), получим 

**7.** Найти энергию ***Wвр*** *-* вращательного движения молекул, содержащихся в массе ***т*** = 1 кг азота при температуре ***t*** *=* 7° С.

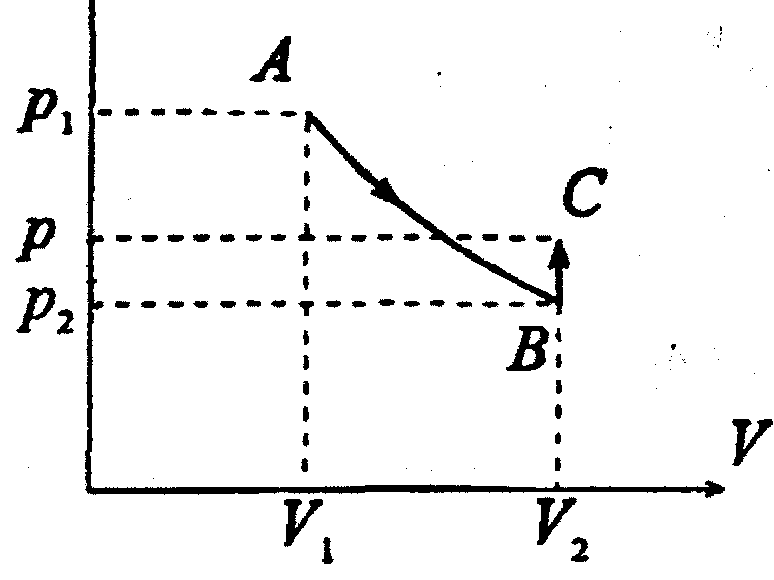
**Решение:** Внутренняя энергия газа  Поскольку молекула азота состоит из двух атомов, то для нее количество степеней свободы вращательного движения ***i*** = 2. Тогда 

**8.** Масса ***m*** = 6,5 г водорода, находящегося при темпе­ратуре ***t*** = 27 °С, расширяется вдвое при ***р*** = *const* за счет при­тока тепла извне. Найти работу ***А*** расширения газа, изменение ∆W внутренний энергии газа и количество теплоты ***Q****,* сообщенное газу.

**Решение:** Работа расширения газа  Coгласно уравнению Менделеева–Клапейрона  работа ; А = 8,1 Дж. Изменение внутренней энергии , где ***i*** = 5. Т. к. ***р****= const ,*  то , следовательно, . Отсюда  и  Тогда  Согласно первому началу термодинамики 

**9.** Газ расширяется адиабатически, причем объем его увеличивается вдвое, а термодинамическая температура падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы ***i*** имеют молекулы?

**Решение:** Показатель адиабаты , где , тогда . Из уравнения Пуассона  По условию **** и , тогда  или . Отсюда . Тогда ***i*** = .

**10.**  Газ расширяется адиабатически так, что его давление падает от ***р1*** = 200 кПa до ***р2***= 100 кПа*.* Затем он нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление становится равным ***р*** = 122 кПа. Найти отношение *Ср / СV* для этого газа. Начертить график этого процесса.

**Решение:** Из уравнения Пуассона 

Т.к. ***V***= *const*, то  или ****. Тогда . Прологарифмируем полученное выражение  или . Отсюда  или . Окончательно получим 

1. Некоторая масса кислорода занимает объем ***V***1 = 3 л при температуре ***t***1 = 27 °С и давлении ***р1*** *=* 820 кПа. В другом состоянии газ имеет параметры ***V***2 = 4,5 л и ***р2*** = 600 кПа. Найти количество теплоты ***Q***, полученное газом, работу ***А***, совер­шенную газом при расширении, и изменение ∆W внутренней энергии газа при переходе газа из одного состояния в другое по участку *АСВ.*



**Решение:**

По участку *АС В:* Участок  *AC —* изохора, т. е. ***А1*** = 0, поскольку ***∆ V*** = 0. Следовательно,  Согласно уравнению Менделеева– Клапейрона  – (1) и  – (2). Вычтем уравнение (2) из (1), тогда  Отсюда  Участок *СВ* — изобара, следовательно, ***А2*** = ***р2***(***V2 –V1***); ***A*** = 0.9 *кДж*. Изменение внутренней энер­гии . Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона  – (3) и  – (4). Вычтем (3) из (4), тогда  Отсюда  . Таким образом, на всем участке *АСВ:* работа ***А*** = ***А2*** = 0,9 кДж; изменение внутренней энергии  Согласно первому началу термодинамики количество тепла 

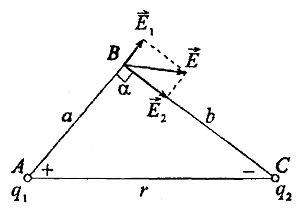
**12.** Идеальная холодильная машина работает **как** тепловой насос по обратному циклу Карно. При этом она берет тепло от воды с температурой ***t2*** = 2 °С и передает его воздуху с темпе­ратурой ***t1*** = 27° С. Найти: а) коэффициент , — отношение количества теплоты, переданного воздуху за некоторый проме­жуток времени, к количеству теплоты, отнятому за это же время от воды; б) коэффициент  — отношение количества теплоты, отнятого за некоторый промежуток времени от воды, к затра­ченной на работу машины энергии за этот же промежуток времени (коэффициент  называется холодильным коэф­фициентом машины); в) коэффициент  — отношение затраченной на работу машины энергии за некоторый проме­жуток времени к количеству теплоты, переданному за это же время воздуху (коэффициент — к. п. д. цикла). Найти соотно­шение между коэффициентами ,  *и* .

**Решение:** Согласно условию задачи  — (1);  — (2);  — (3). Кроме того, КПД цикла . Из (3) имеем . Тогда из (1) . Из (2) имеем , откуда .

**III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

**1.** Два металлических одинаково заряженных шарика мас­сой ***т*** = 0,2 кг каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Найти заряд ***q*** шариков, если известно, что на этом расстоянии энергия ***Wэл*** их электростатического взаимодействия в миллион раз больше энергии ***Wгр*** их гравитационного взаимо­действия.

**Решение:** Энергия электростатического взаимодействия шариков , энергия их гравитационного взаимодействия . По условию , т.е. , где ***n*** = 106; отсюда 

**2.** Два точечных заряда ***q1*** = 7,5нКл и ***q2***  = -14,7 нКл рас­положены на расстоянии ***r*** =5 см. Найти напряженность ***E*** электрического поля в точке, находящейся на расстояниях ***а*** = 3 см от положительного заряда и ***b*** = 4 см от отрицательного заряда.

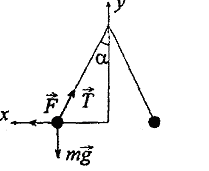
**Решение:**

Стороны треугольника *ВСА* ***а***, ***b*** и ***r*** удовлетворяют

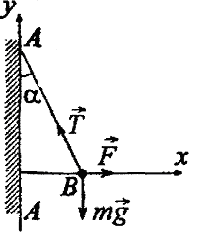
условию r2 = ***а2****+b2*, следо­вательно, треугольник пря­моугольный, угол ****** *=* 90° . Согласно принципу супер­позиции результирующая напряженность в точке С: , где  – напряженность, создаваемая положительным зарядом ***q1****;*  **-** напряженность, создаваемая отрицательным за­рядом ***q2****.* По правилу сложения двух взаимноперпендикулярных векторов в скалярном виде

. По­скольку , а , то 112 *кВ/м.*

**3.** Два шарика одинаковых радиуса и массы подвешены на нитях одинаковой длины так, что их поверхности сопри­касаются. Какой заряд ***q*** нужно сообщить шарикам, чтобы сила натяжения нитей стала равной ***Т*** = 98 *мН*? Расстояние от центра шарика до точки подвеса ***l*** = 10 см; масса каждого шарика ***m*** = 5г.

**Решение:** После сообщения шарикам заряда ***q*** каждый из них отклонился от вертикали на угол  и остановился в положении равновесия. Поскольку условия равновесия для обоих шариков одинаковы, рассмотрим один из них. По закону со­хранения заряда заряд ***q*** распределится на два шарика равномерно. Тогда каждый шарик получит заряд . На шарик действуют три силы: сила Кулона ******, сила натяжения нити и сила тяжести . Условие равновесия шарика  или в проекциях на ось *х*: ***F –Т sin a*** = 0 – (1), на ось *у:* ***T cos a* - *mg*** = 0 – (2). Расстояние между шариками равно ***2l sin a***. Кулоновская сила определяется формулой  – (3). Выразим величину *sin* . Из (2)  или , отсюда – (4). Из (1) найдем***F*** *= T sin * – (5). При­равняв правые части уравнений (5) и (3) и разделив полученное выражение на *sin a,* получим . Подставив в это выражение уравнение (4), выразим = 5,32 \*10-7 *Кл*. Тогда заряд, сообщенный обоим шарикам, 

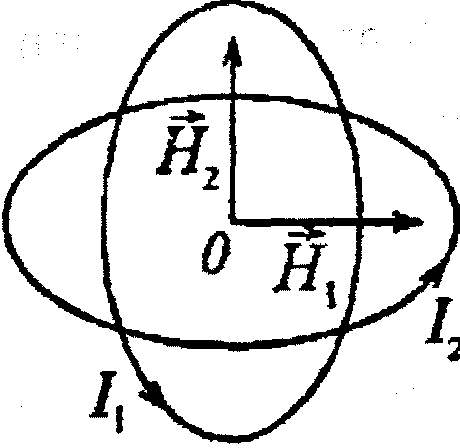
**4.** На рисунке *АА —* заряженная бесконечная плоскость с поверхностной плотностью заряда = 40 *мкКл/м2* и *В —* одноименно заряженный шарик с массой ***т*** = 1 *г* и зарядом ***q*** = 1 *нКл*. Какой угол *а* с плоскостью *АА* образует нить, на которой висит шарик?

**Решение:** Заряженный шарик находится в электри­ческом поле плоскости *АА.* Напря­женность поля  **. На шарик действуют три силы: электростатическая сила , сила натяжения нити  и сила тяжести *.* Условие равновесия шарика  или в проекцияхна ось *х: F –Т sin a* = 0 (1), на ось *у: T cos a* – *mg* = 0 – (2). Электростатическая сила  – (3). Из (2) найдем . Подставляя это выражение в (1), получим  – (4). Приравнивая правые части (3) и (4), найдем, , откуда   .

**5.** До какого расстояния ***r*** могут сблизиться два электро­на, если они движутся навстречу друг другу с относительной скоростью 

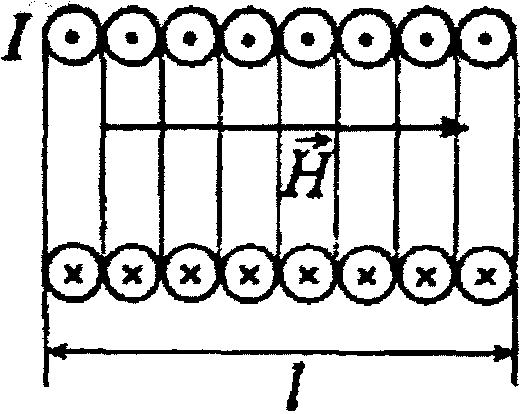
**Решение:** Т.к.  – относительная скорость движения электронов, то один электрон можно считать не­подвижным, а другой — движущимся относительно первого со скоростью*.* По

формуле потенциала поля точечного заряда потенциал поля, создаваемого электроном, который мысчитаемнеподвижным, на расстоянии ***r*** от него . Кинетическая энергия движущегося электрона тратится на работу против кулоновской силы отталкивания . Тогда по закону изменения энергии  или =, откуда 

**6.** Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпа­дают. Радиус каждого витка ***R*** = 2 *см*, токи в витках ***I1*** = ***I2*** = 5 *А*. Найти напряженность ***Н*** магнитного поля в центре этих витков.

**Решение:** Напряженность магнитного поля в центре кругового витка с током . На ри­сунке видно, что векторы  и  взаим­но перпендикулярны. Согласно принципу суперпозиции результирующая напря­женность , или . Поскольку  и , то , тогда =177 *А/м*.

**7.** Катушка длиной ***l*** =30 *см* имеет ***N*** =1000 витков. Найти напряженность ***H*** магнитного поля внутри катушки, еcли по катушке проходит ток ***I*** = 2 *А*. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

**Решение:** По условию диаметр катушки намного меньше ее длины, тогда катушку можно считать бесконечно длинным соленоидом, для которого , где – число витков на единицу длины. Таким образом, 

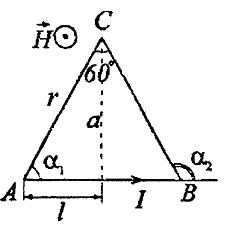
1. Между полюсами электромагнита создается одно­родное магнитное поле с индукцией ***В*** = 0,1 *Тл*. По проводу дли­ной ***l*** = 70 *см*, помещенному перпендикулярно к направлению магнитного поля, течет ток ***I*** = 70 А. Найти силу ***F***, действу­ющую на провод.

**Решение:** На элемент длины  проводника с током  ***I*** в магнитном поле с индукцией  действует сила Ампера . Направление этой силы определяется по правилу векторного произведения векторов. Модуль силы Ампера вычисляется по формуле , где ***а*** —угол между векторами  и *.* Поскольку , то ***dF* = *IBdl*** или  Подставляя числовыеданные, получим ***F*** = 4,9 *Н*.



**9.** Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии ***d*** = 10 *см* друг от друга. По прово­дникам текут токи ***I1*** = ***I2*** = 5 *А* в противоположных направ­лениях. Найти модуль и направление напряженности  магнит­ного поля в точке, находящейся на расстоянии ***a*** = 10 *cм* от каждого проводника.

**Решение:** Согласно принципу суперпозиции на­пряженность магнитного поля в точке ***В****:* , где ; . Поскольку , то . Следовательно, вектор  будет перпендикулярен плоскости, в которой лежат оба проводника. Треугольник *АВС —* равносторонний, т. к. ***а = d***, следовательно, угол * =* 60°. *DBA* == *FBC* , отсюда =б0°. Т.к. две боковые стороны треугольника BDE равны и угол при основании равен 60°, то треугольник равносторонний. Тогда модуль вектора равен модулю вектора , т.е. 

**10.** Найти напряженность ***Н*** магнитного поля, созда­ваемого отрезком *АВ* прямолинейного проводника с током, в точке *С*, расположенной на перпендикуляре к середине этого отрезка на расстоянии ***а*** = 5 см от него. По проводнику течет ток ***I*** = 20 *А*. Отрезок *АВ* проводника виден из точки *С* под углом 60°.

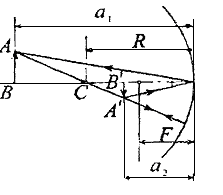
**Решение:** По закону Био-Савара-Лапласа элемент контура *dl*, по которому течет ток ***I***, создаст в некоторой точке *А* пространства магнитное поле напряженностью *dH =*, где ***r*** – расстояние от точки *А* до элемента тока *dl*, где – угол между радиус-вектором  и элементом тока*dl* . Напряженность магнитного поля в точке *С* будет равна . Но  и . Далее, .

Следовательно, ****

где 

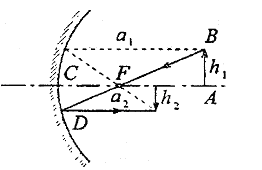
**IV. ОПТИКА**

**1.** Радиус кривизны вогнутого зеркала ***R*** *=* 20 *см*. На рас­стоянии ***а1*** = 30 *см* от зеркала поставлен предмет высотой ***y1*** = 1*см.* Найти положение и высоту ***у2*** изображения. Дать чер­теж.

**Решение:** Фокусное расстояние зеркала  Подставим значения ***а1***  и ***F*** в формулу вогнутого зеркала: ; отсюда  *см*. Т. к. стержень

расположен за центром зеркала, то его изображение действительное (f >0), обратное, уменьшенное.

Увеличение *k* == 0,5 . Следовательно, высота изображения *y2 = ky1 =* 0,5 *см*.

**2.** В вогнутом зеркале с радиусом кривизны ***R*** = 40 *см* хотят получить действительное изображение, высота которого вдвое меньше высоты самого предмета. Где нужно поставить предмет и где получится изображение?

**Решение:** Из подобия треугольников *ABF u CDF* следует, что  (1). По формуле вогнутого зеркала имеем  – (2), откуда  – (3). Из сравнения соотношений (1) и (2) получаем . По условию, , следовательно,  или *а1* = 2*а2*  – (4). Фокусное расстояние зеркала  Из (2) найдем , подставляя (4), получим*,* *F* = *a2*, следовательно, *а1* = 2*F* = *R*. Таким образом, предмет нужно поместить в центр кривизны зеркала, а его изображение получится в фокусе.

**3.** Луч света падает под углом ***i*** на тело с показателем преломления ***п****.* Как должны быть связаны между собой величины *i* и ***n***, чтобы отраженный луч был перпендикулярен к преломленному?



**Решение:** Согласно закону преломления  – (1).

Из рисунка видно, что *КОВ =,  KOA = r* (как углы с со­ответственно перпендикулярными сторонами). Поскольку по закону отражения , а *КОВ+ KOA =* 900 (по условию), то . Совместное решение (1) и (2) дает 

**4.** В каком направлении пловец, нырнувший в воду, видит заходящее Солнце?

**Решение:** Угол падения солнечных лучей *i* = 90°. Из закона преломления имеем  или , откуда ; *r*490. Следовательно, пловец видит Солнце под углом = 41° к по­верхности воды.



**5.** Большой чертеж фотографируют сначала целиком, за­тем отдельные его детали в натуральную величину. Во сколько раз надо увеличить время экспозиции при фотографировании

деталей?

**Решение:** При фотографировании всего чертежа, размеры которого гораздо больше фотопластинки, изображение получается приблизительно в главном фокусе объектива. При фото­графировании деталей изображение в натуральную вели­чину получается при помещении предмета на двойном фокусном расстоянии от объектива (на таком же рас­стоянии получается и изображение на фотопластинке). Площадь изображения при этом увеличится в раза. Во столько же раз уменьшится освещенность фото­пластинки, следовательно, время экспозиции надо увели­чить в 4 раза.

**6.** Спираль электрической лампочки с силой света ***I*** =100 *кд* заключена в матовую сферическую колбу диаметром ***d*** =5 см. Найти светимость ***R*** и яркость ***В*** лампы. Потерей света в оболочке колбы пренебречь.

**Решение:** Если потерь света в оболочке колбы не происходит, то светимость ***R*** численно равна освещенности ***Е***, т. е.  – (1). Светимость ***R*** и яркость ***В*** связаны соотношением *R* = *В*, откуда  – (2). Подставляя числовые данные, получим ***R*** = 16 • 104 *лм/м2*; ***В*** *=* 5,1 • 104 кд/м2.

**7.** Лист бумаги площадью ***S*** = 10 x 30 *см2* освещается лам­пой с силой света ***I*** = 100 *кд*, причем на него падает 0,5% всего посылаемого лампой света. Найти освещенность ***Е*** листа бумаги.

**Решение:** Полный световой поток, испускаемый лампой, Фо = 4 . На лист падает световой поток Ф =5\*103 Фо. Освещенность листа . Подставляя числовые данные, получим ***Е*** = 210 *лк*.

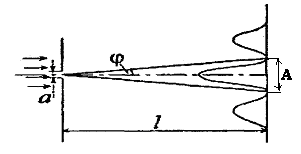
**8.** В опыте Юнга стеклянная пластинка толщиной ***h*** =12 *см* помещается па пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно к лучу. На сколько могут отличаться друг от друга показатели преломления в различных местах пластинки, чтобы изменение разности хода от этой неоднородности не превышало  = 1 *мкм*?

**Решение:** Для двух различных значений ***n1*** и ***n2*** показателя пре­ломления стеклянной пластинки изменение разности хода лучей соответственно равно  и . По условию , т.е. –= 10-6, откуда  .

**9.** Пучок белого света падает по нормали к поверхности стеклянной пластинки толщиной ***d*** = 0,4 *мкм*. Показатель пре­ломления стекла ***п*** = 1,5. Какие длины волн , лежащие в пре­делах видимого спектра (от 400 до 700 *нм*), усиливаются в отра­женном свете?

**Решение:** Условие максимума в отраженном свете . Отсюда . При *k* = 1 получаем  = 800 *нм*, данная волна не лежит в пределах видимого спектра. При *k* = 2 получим = 480 *нм*, что удовлетворяет условию. При *k* = 3 получим = 343 *нм*, эта длина волны также не лежит в пределах видимого спектра. Таким образом, искомая длина волны = 480 *нм.*

**10***.* На щель шириной ***а*** *=*20*мкм* падает нормально парал­лельный пучок монохроматического света ( = 500 *нм*). Найти ширину *А* изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние ***l*** = 1 *м*. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположен­ными по обе стороны от главного максимума освещенности.

**Решение:** Из рисунка видно, что *.* Поскольку угол мал, то можно принять *.* Тогда *А =*2*1sin –* (1). Условие мак­симумов интенсивности света *,* откуда при k = 1 – (2). Подставляя (2) в (1), получим 

**V. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ**

**1**.Через какое время от начала движения точка, совершающая гармоническое колебание, сместится от положения равновесия на половину амплитуды? Период колебаний ***Т*** = 24 *с* , начальная фаза φ = 0.

**Решение:** Уравнение гармонического колебательного движения имеет вид: . Подставляя числовое значение периода Т и начальной фазы φ, получим . По условию, , отсюда ,  или 

**2.**Уравнение колебаний материальной точки массой ***m*** = 10 *г* имеет вид *см*. Найти максимальную силу ***Fmax*** , действующую на точку и полную энергию W колеблющейся точки.

**Решение:** Т.к. уравнение колебаний материальной точки имеет вид  – (1), то ускорение при колебательном движении . Тогда максимальная сила, действующая на точку .

Кинетическая энергия материальной точки равна . Потенциальная энергия материальной точки равна , т.к. , то 

. При этом за нулевой уровень отсчета потенциальной энергии выбирается положение равновесия (х = 0). Полная энергия колеблющейся точки  или, с учетом , имеем  – (2). Из уравнения (1) ***А*** = 5 *см*  и период ***Т*** = 10 *с,* подставляя их в уравнение (2), получаем ***W*** = 4,93 *мкДж*.

**3.**Логарифмический декремент затухания маятника равен ***λ*** = 0,02. Во сколько раз (k) уменьшиться амплитуда после ***n*** = 50 полных колебаний? Считать, что период затухающих колебаний близок к периоду свободных незатухающих колебаний.

**Решение:** Амплитуда затухающего колебания изменяется по закону

 , (1)

где А0 – амплитуда в начальный момент времени,  – коэффициент затухания, который связан с логарифмическим декрементом затухания формулой

 (2)

По условию,

***t = nT*** (3)

Подставляя (2) и (3) в (1), имеем

 (4)

Искомое k равно отношению амплитуд:

.

**VI. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

1. Найти энергию ***ε***, массу ***m*** и импульс ***р*** фотона, если соответствующая ему длина волны λ = 1,6 пм.

**Решение:** Имеем: ; . Импульс фотона . Подставляя числовые данные получим ***ε*** = 1,15\*10-13 *Дж*, ***m*** = 1,38\*10-20 *кг,*  ***р*** = 4,1\*10-22 .

1. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны ***λ*** = 520 нм.

**Решение:** Импульс электрона . Импульс фотона . Приравнивая правые части этих уравнений получим  , откуда . Подставляя числовые данные, получим 

1. Импульс, переносимый монохроматическим пучком фотонов через площадку ***S*** = 2 *см2* за время ***t*** = 0.5 *мин*. равен р = 3\*10-9 . Найти для этого пучка энергию ***Е***, падающую на единицу площади за единицу времени.

**Решение:** Энергия и импульс фотона связаны соотношением . За единицу времени на единицу площади будет падать энергия .

1. Найти световое давление ***Р*** на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом ***r*** = 5 *см*. Стенки лампы отражают 4% и пропускают 6% падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

**Решение:**  По определению светового давления  – (1), где  – (2) энергия, падающая на единицу поверхности за единицу времени, ***N*** – мощность лампы, ***S*** = 4πr2 – (3), – коэффициент отражения света. Подставляя (3) в (2) получаем  – (4), затем подставляя (4) в (1) окончательно получаем 

**5.** Электрон находится в потенциальной яме. Вычислить разность энергий соседних уровней ***n + 1*** и определить, как дискретность, т.е. различие энергий соседних уровней, зависит от размеров потенциальной ямы. Пусть ***n = 1***, а ширина потенциальной ямы мала и примерно соответствует размерам атома (***l*** = 5\*10-10 м).

**Решение:**  Вычислим разность энергий соседних уровней ***n + 1*** и ***n***:

 (1)

Из (1) видно, что при некотором фиксированном значении ***n*** дискретность тем меньше, чем больше размеры потенциальной ямы. Если ***n*** = 1, а ***l*** = 5\*10-10 м, то  Здесь дискретность ничтожна и практически можно считать, что энергия электрона изменяется непрерывно.

**VII. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА**

**1.**Найти кинетическую ***Wк***, потенциальную ***Wп*** и полную ***W*** энергии электрона на первой боровской орбите.

**Решение:** Скорость движения электрона по **k**-той орбите . Кинетическая энергия электрона на **k**-той орбите – (2). Подставляя (1) в (2) получим . По условию ***k*** = 1. Подставляя числовые данные, получим ***Wк(1)*** = 21,78\*10-19 *Дж* = 13,6 *эВ*.

Потенциальная энергия электрона ***Wп(1)*** = -2 Wк(1) = -27,2 *эВ*.

Полная энергия электрона ***W1*** = Wк(1) + Wп(1) = -13.6 *эВ*.

**2.**Найти потенциал ионизации ***U1***атома водорода.

**Решение:** потенциал ионизации ***U1***атома определяется соотношением eU1 = A1, где A1 – работа по удалению электрона с нормальной орбиты на бесконечность. Для атома водорода . При k = 1 и n =  имеем ***А1*** = hRc, потенциал ионизации 

**3.**Насколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны ***λ*** = 486 *нм*?

**Решение:** согласно второму постулату Бора частота излучения, соответствующая переходу электрона с одной орбиты на другую определяется формулой  или  – (1). С другой стороны,  – (2), где ***с*** = 3\*108 *м/с* – скорость света, λ – длина волны излученного атомом фотона. Приравнивая правые части уравнений (1) и (2), получаем , откуда изменение кинетической энергии электрона 

**4.**Выразить через постоянную распада ***λ*** и период полураспада ***Т*** вероятность того, что радиоактивное ядро распадется за время от ***0*** до ***t***.

**Решение:** Обозначим ***N*** – число радиоактивных ядер, ***dN*** – число ядер, которые распались за время ***dt***; будем считать, что ***dN***<<***N***. Можно отождествить ***N*** с числом независимых испытаний, в которых ***dN*** раз реализуется некоторое событие (распад ядра). В этом случае отношение соответствует вероятности распада ядра за время ***dt*** при учете, что ядро «дожило» до этого времени.

Искомую вероятность распада обозначим ***Р***; вероятность того, что ядро не распалось за это время и «дожило» до момента ***t***, равна 1-Р. Вероятность ***dP*** того, что ядро не распалось к моменту ***t***, но распалось за время от ***t*** до ***t + dt***, можно найти, используя теорему умножения вероятностей:

 (1)

При выводе основного закона радиоактивного распада получается следующая зависимость:

 или . (2)

Подставляя (2) в (1), получаем

 (3)

На основании теоремы сложения вероятностей можно найти искомую вероятность, суммируя (интегрируя) выражение (3). В результате получаем:

.

**Физический практикум и его выполнение.**

Физический практикум является совместной формой познавательной деятельности преподавателя и учащегося на занятиях по физике. Физический практикум позволяет приобрести курсантам (слушателям) умения и навыки в работе с оборудованием, убедиться в объективности физических законов, вызвать интерес к исследовательской работе, познакомиться с экспериментальным методом науки. Преимущества практикума по сравнению с другими формами обучения: прекрасный элемент повторения материала, внесение элементов новизны в повторяемое, самостоятельность обучающихся. Подведение итогов физического практикума проводится в виде зачета.

**Цель физического практикума** – систематизация знаний, обобщение и углубление их по наиболее важным вопросам курса, способствование политехническому образованию, формирование ряда политехнических умений и навыков: собирать установки, выполнять измерения и обрабатывать полученные результаты, делать выводы по результатам эксперимента, организовывать свое рабочее место и соблюдать технику безопасности. Основное внимание уделяется пониманию физической сущности изучаемых явлений.

**Порядок проведения экспериментальной работы**

На начальном этапе руководитель практикума выясняет теоретическую подготовку курсантов к выполнению опытов. Полезно провести физический диктант, тестирование курсантов, в ходе которых можно оперативно определить степень готовности к лабораторному практикуму.

Затем курсанты в тетрадях для физического практикума записывают тему занятия, название работы, формируют цель. После этого им предстоит ознакомиться с экспериментальной установкой, понять принцип ее действия, приборов, входящих в установку. Далее курсанты разрабатывают план эксперимента, если он не предложен в методических указаниях по выполнению работы. Следующий этап – тщательное проведение измерений (снятие показаний приборов), занесение результатов измерений в таблицы (калькуляторы, компьютеры).

Затем курсанты ведут обработку полученных данных, строят графики, определяют функциональные зависимости этих графиков, ведут расчеты. После чего сравнивают (если это возможно) различные методы определения полученной физической величины, делают выводы.

Физический практикум завершается представлением письменного отчета о проделанной работе и ответами на вопросы руководителя практикума. По итогам выполнения курсантом задания выставляется оценка. Курсант, получивший неудовлетворительную оценку, к следующей экспериментальной работе не допускается, пока не ликвидирует задолженность.

**Часть 3.**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.**

**ПРОГРАММА ВВЕДЕНИЕ.**

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Математика и физика. Диалектический материализм и физика. Важнейшие этапы истории физики. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика как культура моделирования. Компьютеры в современной физике. Роль физики в становлении инженера. Общая структура и задачи курса физики. Размерность физических величин. Основные единицы измерения в СИ.

1. **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ**

**1.1. Элементы кинематики**

Физические модели: материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда.

Пространство и время. Кинематическое описание движения. Прямолинейное движение точки. Движение точки по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и касательное ускорение.

**1.2. Динамика частиц**

Основная задача динамики. Понятие состояния в классической механике. Уравнение движения. Масса и импульс. Эталон массы в СИ. Границы применимости классического способа описания движения частиц.

Современная трактовка законов Ньютона. Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы отсчета. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Сила как производная импульса. Третий закон Ньютона и закон сохранения импульса.

**1.3. Закон сохранения импульса**

Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы. Реактивное движение.

**1.4. Закон сохранения момента импульса**

Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Момент силы. Уравнение моментов. Уравнение динамики вращательного движения.

**1.5. Закон сохранения энергии**

Работа и кинетическая энергия. Мощность. Связь между кинетическими энергиями в различных системах отсчета.. Энергия движения тела как целого. Внутренняя энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии. Законы сохранения и симметрия пространства и времени.

**1.6. Принцип относительности в механике**

Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Преобразования Галилея. Абсолютные и относительные скорости и ускорения.

**1.7. Элементы релятивистской динамики**

Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы. Работа и энергия. Инвариантность уравнения движения относительно преобразований Лоренца. Преобра­зования импульса и энергии. Законы сохранения энергии и импульса.

**1.8. Твердое тело в механике**

Уравнения движения и равновесия твердого тела. Энергия движущегося тела. Момент инерции тела относительно оси. Вращательный момент.

**1.9. Элементы механики сплошных сред**

Общие свойства жидкостей и газов. Уравнения равновесия и движения жидкости. Идеальная и вязкая жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное движение иде­альной жидкости. Уравнение Бернулли.

Гидродинамика вязкой жидкости. Коэффициент вязкости. Течение по трубе. Формула Пуазейля. Закон подобия. Формула Стокса. Гидродинамическая неустойчивость. Турбулентность. Упругие напряжения. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней.

**2. ФИЗИКА КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН**

Понятие о колебательных процессах. Единый подход к колебаниям различной физической природы.

**2.1. Кинематика гармонических колебаний**

Амплитуда, круговая частота, фаза гармонических колебаний. Сложение скалярных и векторных колебаний. Комп­лексная форма представления колебаний. Векторные диaграммы.

**2.2. Гармонический осциллятор**

Маятник, груз на пружине, колебательный контур и т. д. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент. Энергетические соотношения для осциллятора. Понятие о связанных осцилляторах.

Действие периодических толчков на гармонический осциллятор. Резонанс. Осциллятор как спектральный прибор. Фурье-разложение. Физический смысл спектрального разложения. Модулированные колебания. Спектр амплитудно-модулированного колебания.

Вынужденные колебания осциллятора под действием синусоидальной силы. Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонанс.

**2.3. Волновые процессы**

Волны. Плоская стационарная волна. Плоская синусоидальная волна. Бегущие и стоячие волны. Фазовая скорость, длина волны, волновое число. Эффект Доплера. Поляризация. Интерференция синусоидальных волн. Распространение волн в средах с дисперсией. Групповая скорость и ее связь с фазовой скоростью. Нормальная и аномальная дисперсия.

Одномерное волновое уравнение. Продольные волны в твердом теле. Энергетические соотношения. Вектор Умова. Упругие волны в газах и жидкостях. Поведение звука на границе двух сред. Ударные волны.

**3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

Динамические и статистические закономерности в физике. Статистический и термодинамический методы.

**3.1. Макроскопические состояния**

Тепловое движение. Макроскопические параметры. Внутренняя энергия. Уравнение 'состояния идеального газа. Дав­ление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

**3.2. Статистические распределения**

Вероятность и флуктуации. Распределение Максвелла. Распределение частиц по абсолютным значениям скорости. Средняя кинетическая энергия частицы. Скорости теплового движения частиц. Эффузия газа и молекулярные пучки. Распределение Больцмана.

**3.3. Явления переноса**

Понятие о физической кинетике и явлениях переноса. Диффузия и теплопроводность. Коэффициент диффузии. Коэффициент теплопроводности. Вязкость. Коэффициент вязкости га­зов и жидкостей. Динамическая вязкость.

**Указания к решению задач**

Для успешного решения задачи, как уже говорилось, необходимо уяснить суть процесса, предлагаемого условием задачи, выявить законы или закономерности, проявляющиеся в ситуации, предложенной условием. Для осуществления последнего необходимо предварительно уяснить физический смысл всех понятий и величин, использованных в словесных и аналитических формулировках законов и закономерностей, описывающих данный процесс или физическое явление. В частности, во всех видах механического движения мы встречаемся с понятиями «путь», «перемещение», «скорость» и «ускорение».

**1. Кинематика**

*а) Поступательное движение*

Кинематическое уравнение движения материальной точки (центра масс твердого тела) вдоль оси *х*

,

где *х —* координата; *f(t) —*некоторая функция времени.

Перемещением  называют векторную разность радиусов-векторов, проведенных из начала системы координат в начальную () и конечную () точки траектории материаль­ной точки:



Путь , в отличие от перемещения,— это длина участка тра­ектории, пройденного точкой за время . Это значит, что путь  не может убывать и принимать отрицательные значения, т.е.



Средняя скорость 

Средняя путевая скорость 

Мгновенная скорость 

Мгновенное ускорение 

При прямолинейном движении вдоль оси  модуль скорости



Среднее ускорение т 

Мгновенное ускорение



*б) Вращательное движение.*

Кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности радиуса 



где - угловое перемещение (рис 1а)

Угловая скорость



Угловое ускорение

Угловое перемещение, угловая скорость и угловое ускорение могут быть представлены в векторной форме. Векторы углового перемещения и угловой скорости направлены вдоль оси вращения так, что с конца вектора направления вращения выглядит движением против часовой стрелки. При ускоренном вращении векторы угловой скорости и углового ускорения имеют общее начало и направлены одинаково, при замедленном вращении – направлены в противоположенные стороны. На рис.1б показаны векторы  для случая, соответствующего рис 1а.

Связь между линейными и угловыми величинами:

  (или  ) ;  (ил и  )

 ,

где  - линейный путь точки ;

 - линейная скорость точки ;

 - тангенциальное и нормальное линейные ускорения точки

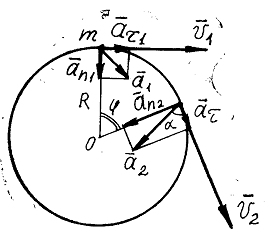


Рис 1а

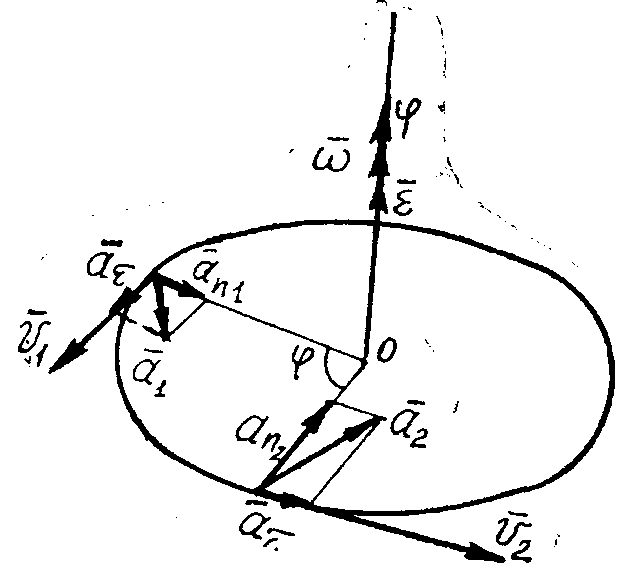


Рис 1б

Полное линейное ускорение



Угол между линейной скоростью и полным линейным ускорением



*а) Колебания*

Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки

,

где  - смещение точки от положения равновесия;

 - амплитуда колебаний;

 - время;

 - круговая или циклическая частота ;

 - частота колебаний;

 - период;

- начальные фазы .

Скорость колеблющейся материальной точки



Ускорение колеблющейся материальной точки



**Пример 1.1.**

Две материальные точки движутся по окружности радиусом м согласно уравнениям:

 и ,

где  и - криволинейные координаты;

 ;

 ;

 ;

; 

 ;

 ;

Определить линейную и угловую скорости, тангенциальные, нормальные, полные и угловые ускорения в момент совмещения точек, а также средние путевые линейные скорости на участке движения до совмещения точек.

**Решение.** Определим в начале момент времени, упомянутый в условии. При совмещении материальных точек , т.е.



Отсюда

 (1)

Мы получили квадратное уравнение относительно искомого времени . Для облегчения его решения подставим в (1) параметры заданных уравнений. После вычисления получим



В соответствии с формулой решения квадратного уравнения

 ;

В данном решении физический смысл имеет положительное числовое значение времени, определяющее момент совмещения материальных точек.

Линейные скорости точек являются первыми производными от координаты по времени:

 ;

 .

Вычислим искомые линейные скорости :

Знак "минус" в числовом значении  указывает на то, что совмещение точек произошло после того, как первая точка начала двигаться обратно.

Для нахождения угловых характеристик криволинейного движения запишем уравнения движения точек в угловых координатах.

Учитывая, что *,* где (—угловой путь, получим:

 ;

 .

Угловые скорости найдем как первые производные от углового пути по времени:





Вычислим угловые скорости:

-0,63   

Угловые ускорения материальных точек найдем как первые производные от угловых скоростей по времени:

 ;

 .

Вычислим угловые ускорения:

Знак "минус" в числовых значениях  и  указывает на то, что первая точка движется ускоренно в направлении, противоположном направлению движения второй точки.

Определим линейные нормальные, тангенциальные и пол­ные ускорения:

Нормальные ускорения:

Тангенциальные ускорения:

 ;

Полные ускорения:

 ;

 ;.

По ходу решения выяснилось, что первая точка до встречи со второй поменяла направление движения. Вторая точка не изменяла направления своего движения. Для определения средних путевых скоростей за время движения до совмещения материальных точек вычислим криволинейные координаты этих точек в начале и конце пути:

При  с:  ;

 .

При =2,548 с: = 8+1,8\*2,55— 0,5\* 2,552 == 9,34 ;

=1+1 **2,55+1,2**2,552 ==9,35 ,

что соответствует совмещению точек в этот момент времени.

Средняя путевая скорость равна

,

где  — пройденный путь.

Путь, пройденный первой материальной точкой до встречи со второй, можно узнать только после определения точки, в которой первая точка поменяла направление движения. Вначале определим момент времени, в который это произошло. При изменении направления движения первой точки



Отсюда

Криволинейная координата, достигнутая первой точкой в момент поворота

Следовательно, путь первой точки составил

Средняя путевая скорость первой точки до встречи

Путь второй материальной точки составил

Средняя путевая скорость второй точки до встречи

**2. Динамика**

*а) Поступательное движение*

Импульс  материальной точки с массой , движущейся прямолинейно со скоростью 



Второй закон Ньютона :

,

где  - результирующая сила, действующая на тело.

Силы, рассматриваемые в механике

Сила гравитационного притяжения

,

где  - гравитационная постоянная ;

 и  — массы точечных или сферических тел;

 и — радиусы-векторы, определяющие положениетел впространстве (рис. 2);

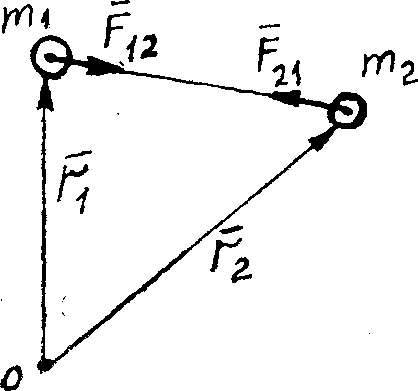


Рис. 2

Сила тяжести (сила гравитационного взаимодействия с Землей)

,

где *g —* ускорение свободного падения (напряженность гравитационного поля Земли ).

Сила упругости, возникающая в упруго деформированном теле и препятствующая деформации

*,*

где *k—*коэффициент упругости (в случае пружины жесткость) ;

*х —* абсолютная деформация.

Сила трения скольжения (направлена противоположно движению тела)

*,*

где -коэффициент трения;

- сила нормального давления.

Закон сохранения импульса (выполняется в изолированной системе тел)

,

где —текущий номер тела;

*п—*количество взаимодействующих тел;

или для двух взаимодействующих тел **()**

,

где  и *—* скорости тел до взаимодействия;

 и —то же после взаимодействия.

Кинетическая энергия тела 

Потенциальная энергия: упруго деформированной пружины

*;*

тела, находящегося в однородном поле силы тяжести

*,*

где *h—* высота тела над некоторым уровнем (формула справедлива при *h<R,* где *R —* радиус Земли);

Гравитационного взаимодействия

**

**Пример 1.2.** Порция угля массой  =120 кг скользит из состояния покоя по желобу длиной 20 м под углом к горизонту и падает в вагонетку массой ==80 кг. На какое расстояние откатится вагонетка при коэффициенте трения 0,05, если проекция желоба на плоскость горизонта составляет угол 20° с направлением рельсов (рис. За)? Коэффициент трения угля о желоб =0,35.



Рис. 3а

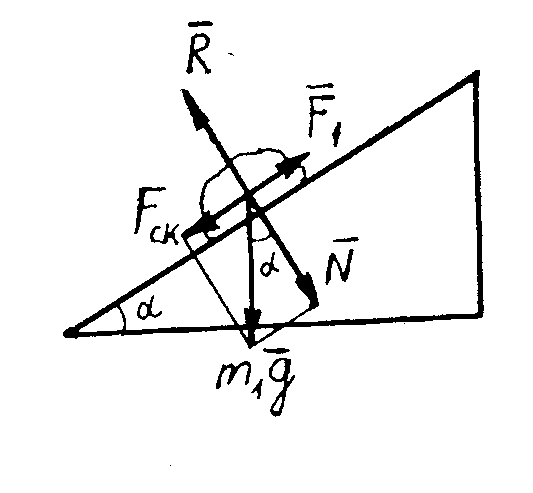


Рис.3б

**Решение.** При взаимодействии порции угля, движущейся по желобу, с вагонеткой действие посторонних сил на указанные тела отсутствует. Поэтому в системе этих тел, как в системе изолированной, выполняется закон сохранения импульса. Поскольку вагонетка может двигаться только в направлении рельсов, систему отсчета связываем с неподвижными рельсами, ось направляем вдоль рельсов в сторону движения вагонетки (рис. За). Для применения закона сохранения импульса необходимо звать скорость груза в момент его попадания в вагонетку. В движении угля по желобу проявляется закон динамики поступательного движения. На порцию угля действуют три силы: сила тяжести груза *,* сила трения ** и сила реакции *R* (рис. 3б). Последняя равна, по третьему закону Ньютона, силе нормального давления *N* груза на желоб:

*.*

Равнодействующая сил *R* и  является скатывающей силой . С другой стороны, и *N* являются составляющими, на которые может быть разложена сила тяжести *.* Отсюда, учитывая, что угол между  и *N* прямой, получим

*.*

Сила трения угля о желоб *.* В направлении движения на груз действуют две силы:  и *.* Сообщаемое ими ускорение в соответствии со вторым законом Ньютона

* (1)*

Скорость угля в конце желоба

,

где  - время движения по желобу.

Учитывая, что это движение - равноускоренное из состояния покоя, выразим путь (длину желоба)



откуда

 (2)

Подставив (1) в (2), получим

***.***

Приведенными формулами предусмотрены различные способы формирования шкалы энергий. В первом случае (однородное поле) потенциальная энергия тела с массой *т* считается положительной величиной, причем минимальное ее значение (П==0) соответствует *h* =0. Во втором случае потенциальная энергия считается отрицательной величиной, причем максимальное ее значение (П=0) соответствует  *.*

Порция угля, падая в вагонетку, сообщает ей импульс. Составляющая импульса груза в направлении рельсов равна  (см. рис. За). Загруженная вагонетка приобре­тает скорость *и.* В соответствии с законам сохранения импульса

*(3)*

Записав (3) в проекции на ось, направленную вдольрельсов**,** получим:

,

Отсюда



Груженая вагонетка, обладая кинетической энергией , расходует ее на преодоление трения на осяхколес вагонетки.

Выразим силу трения *,* возникающую при движении груженой вагонетки, учитывая, что силой нормального давления в данном случае является сила тяжести

*.*

Кинетическая энергия вагонетки переходит в работу против сил трения на пути отката вагонетки (закон сохранения энергии):

,

Отсюда



Подставив в (4) выражения для силы трения и скорости *и* загруженной вагонетки, получим выражение для пути отката:



=

Проверим полученную расчетную формулу методом анализа наименований физических величин:



Выпишем числовые значения подставляемых в расчетную формулу величин:



Вычислим длину пути отката вагонетки:





**Пример 1.3.** При горизонтальном полете со скоростью *v=250* м/с на высоте =80 м снаряд массой *т=8 кг разорвался* на 2 части. Меньшая часть массой =3 кг полетела вертикально вниз с той же скоростью. На каком расстоянии от меньшей части упала большая часть снаряда?

**Решение.** В соответствии с законом сохранения импульса импульс целого снаряда равен векторной сумме импульсов осколков:

*.*

Выразим графически (рис. 4) импульс снаряда  *как* векторную сумму импульсов осколков  и *.*Параллелограмм импульсов делится диагональю  на два равных прямоугольных треугольника с гипотенузой  и кате­тами *р* и .

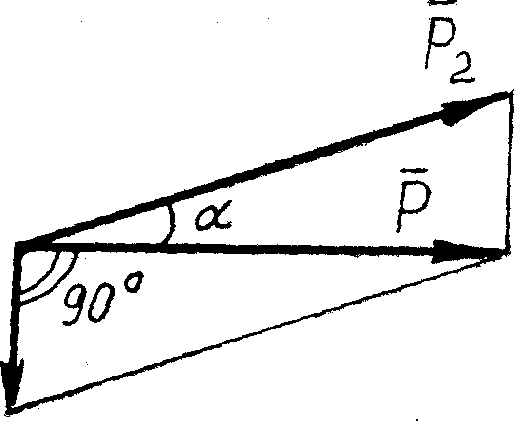


Рис. 4

В соответствии с теоремой Пифагора



или ,

где - скорость большего осколка, летящего под  углом к горизонту.

Отсюда



Для нахождения расстояния между упавшими осколками нам необходимо знать скорость  и угол . Очевидно, что формула (1) удовлетворяет проверке методом анализа наименований физических величин. Вычислим начальную скорость второго осколка:  

Из рис. 4 видно, что

,

Отсюда



Таким образом, расстояние между упавшими осколками равно расстоянию, преодоленному по горизонтали вторым осколком, как телом, брошенным с высоты *h* со скоростью  под углом  к горизонту (рис. 5). Поскольку в условии задачи

 Х

Рис. 5

отсутствуют данные о сопротивлении воздуха, этим фактором в решении пренебрегаем. Движение тела, брошенного под углом к горизонту, является равнопеременным, происходящим под действием силы тяжести *.* В любой момент движения второго осколка его перемещение от начала координат (рис. 5)

 , (2)

где  — начальная скорость движения второго осколка;

* —* ускорение свободного падения;

*t—*время, отсчитанное от момента разрыва;

*—*радиус-вектор, определяющий положение точки разрыва снаряда в момент разрыва.

Так как направления векторов неодинаковы, воспользоваться уравнением (2) можно только послеперезаписи его в проекциях на две различным образом направ­ленные оси. Выберем горизонтальную и вертикальную оси. Запишем уравнение (2) в проекции на вертикальную ось для момента времени, соответствующего удару второго осколка о землю:

* ,*

или

,

где - вертикальная составляющая начальной скорости второго осколка.

Подставив в формулу (2) числовые значения известных величин, получим

.

Отсюда неизвестное время *t* движения второго осколка найдем решением квадратного уравнения:

.

Это решение:

 '



Отрицательный корень уравнения не имеет физического смысла. Запишем уравнение (2) в проекции на горизонтальную ось:

*,*

где — - горизонтальная составляющая начальной скорости второго осколка.



**Пример 1.4**. Система пружин (рис. 6) растянута так, что деформация первой оказалась равной . Какова работа, затраченная на деформацию всей системы, если жесткости пружин равны ; Определить также работу, необходимуюдляувеличения вдвое первоначальной деформации.



**Решение.** Известно, что возвращающая сила (сила упругости), возникающая при упругой деформации пружины, пропорциональна величине деформации:

 (1)

где *k —* коэффициент пропорциональности, именуемый жесткостью пружины.

Применительно к системе связанных пружин (рис. 6),во всехпоследовательно включенных звеньях, которой в соответствии с третьим законам Ньютона силы упругостиодинаковы, мо­жем записать:

**,** (2)

где   *—* деформация 1-й пружины;

* —* деформация 2-й пружины;

—деформация 3-й пружины, равная деформа­ции 4-й пружины;

 — соответственно жесткости перечисленных пружин.

Заметим, что звено, состоящее из параллельно соединенных пружин, можно рассматривать как одну пружину, жесткость которой равна сумме жестокостей данных пружин. Из уравнения (2) следует:

Работа, затраченная на деформацию пружины, равна



Работа по деформации системы пружин равна сумме работ по деформации всех ее звеньев:

****. (4)

Подставив (3) в (4), получим

*.* (5)

Проверим формулу анализом наименований единиц физических величин:



Подставим в формулу (5) числовые значения величин:

;

Получим



.

*б) Вращательное движение*

Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси

*,*

где *—*вектор результирующего момента внешних сил, действующих на тело;

 — момент инерции тела относительно оси вращения;

 — вектор углового ускорения.

Моменты инерции некоторых тел массы *m* относительно оси, проходящей через центр маcс: тонкостенного цилиндра (обруча) радиуса  относительно оси, совпадающей с осью цилиндра

;

диска радиуса *R* относительно оси, проходящей через центр масс диска перпендикулярно его плоскости

.

Теорема Штейнера: момент инерции тела относительно оси, не проходящей через центр масс, равен сумме момента инерции  относительно оси, параллельной заданной и проходящей через центр масс, и произведения массы тела *т* на квадрат расстояния *d* от центра масс тела до оси вращения:

.

Момент импульса  тела, вращающегося относительно не­подвижной оси с угловой скоростью 

,

где момент инерции тела относительно оси вращения.

Закон сохранения момента импульса: для изолированной системы вращающихся тел

,

где —текущий номер вращающегося тела;

*п—*количество взаимодействующих вращающихся тел;

Закон сохранения момента импульса применительно к двум взаимодействующим вращающимся телам относительно одной из осей вращения

,

где - параметры вращающихся тел до взаимодействия;

- то же после взаимодействия.

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси

 или 

*в) Гармонические колебания*

Возвращающая (квазиупругая) сила, действующая на материальную точку массой *т,* совершающую гармонические колебания:

,

где ;

 — амплитуда;

- циклическая частота колебаний;

-начальные фазы колебаний;

 — текущее время колебательного процесса.

Кинетическая энергия колеблющейся материальной точки



Потенциальная энергия колеблющейся материальной точки



Полная механическая энергия колеблющейся материальной точки

**.**

Период колебаний математического маятника

,

где *-* длина маятника;

*g -*  ускорение свободного падения.

Период колебаний пружинного маятника

,

где *т —* масса маятника;

*k —* жесткость пружины.

Период колебаний физического маятника

,

где - момент инерции маятника;

*т -* его масса;

*g -*  ускорение свободного падения;

*-* расстояние от центра масс маятника до оси его качаний;

Приведенная длина физического маятника



Кинетическая энергия физического маятника

,

где  - момент инерции физического маятника;

 - циклическая частота колебаний;

 - угловая амплитуда колебаний (максимальное значение угла отклонения маятника, рад.).

Потенциальная энергия физического маятника

.

**Пример 1.5.** Человек, стоящий на неподвижной скамье Жуковского, получил вращающееся с частотой  на легкой вертикальной оси колесо массой  и радиусом  Масса колеса распределена по его ободу. Момент инерции скамьи Жуковского с человеком . Определить частоту вращения скамьи Жуковского, вызванного поворотом оси вращающегося колеса до горизонтального положения таким образом, чтобы плоскость вращающегося колеса оказалась на расстоянии  от оси вращения скамьи с человеком. Определить силу, необходимую для торможения скамьи Жуковского за ее край в течение . Радиус скамьи Жуковского .

**Решение:** 1. Для изолированной системы взаимодействующих вращающихся тел справедлив закон сохранения момента импульса. При совпадении и постоянстве осей взаимодействующих вращающихся тел исходная формула, выражающая этот закон, может быть записана в скалярном виде. В нашем случае оси вращающихся тел не совпадают, поэтому следует применить закон в более общем, векторном виде:

,

где  и —векторы моментов импульсов двух тел до взаи­модействия;

 и  *—* то же после взаимодействия.

Направление вектора  совпадает с направлением вектора угловой скорости , а его модуль . В нашем случае, если считать колесо первым телом, а скамью Жуковского с человеком- вторым, , т. к. до взаимодействия скамья не .вращалась. Следовательно (рис. 7),

*.* (1)

Приведем выражение (1) к скалярной форме, для чего запишем его в проекциях на ось *у:*

 или , (2)

где *—*момент инерции колеса;

—угловая скорость колеса;

 момент инерции скамьи Жуковского с человеком и колесом, вращающемся на расстоянии  от оси скамьи Жуковского ;

 - угловая скорость ее вращения;

 - искомая частота вращения скамьи Жуковского.



Рис. 7.

Приведем выражение (1) к скалярной форме, для чего запишем его в проекциях на ось *у:*

 или , (2)

где *—*момент инерции колеса;

—угловая скорость колеса;

 момент инерции скамьи Жуковского с человеком и колесом, вращающемся на расстоянии  от оси скамьи Жуковского ;

 - угловая скорость ее вращения;

 - искомая частота вращения скамьи Жуковского.

Очевидно, что . Тогда , откуда

 (3)

Подставив в (3) числовые значения величин, вычислим



2. Процесс торможения скамьи Жуковского описывается основным законом динамики вращательного движения. В проекции на направление вектора углового ускорения имеем:

, (4)

где *М—*момент тормозящей силы; — угловое ускорение при торможении.

Момент тормозящей силы

****,(5)

где *F —* искомая сила.

Угловое ускорение

 ,

где — конечная угловая скорость;

 —начальная угловая скорость в процессе торможения;

*t —* время торможения.

Учитывая, что  а , получим

 (6)

Подставив (5) и (6) в (4), получим

***,***

откуда

 (7)

Проверим полученную формулу анализом наименований единиц физических величин

.

Подставим в формулу (7) числовые значения физических величин и вычислим

.

**Пример 1.6.** Масса снаряда калибра 152 мм . Толщина стальной оболочки снаряда , плотность «начинки» . Определить механическую энергию снаряда по отношению к Земле в верхней точке его траектории, если выстрел произведен под углом  к горизонту, начальная скорость снаряда , частота вращения снаряда в полете . Форму снаряда считать цилиндрической с закрытыми торцами, сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение.** Скорость снаряда в верхней точке траектории в консервативной системе «земля—снаряд» направлена горизонтально. Полная механическая энергия снаряда равна сумме энергий — потенциальной, кинетической в поступательном и во вращательном движениях:

.  (1)

Считая, что потенциальная энергия на поверхности Земли равна нулю, для верхней точки имеем

*,*  (2)

где *g —* ускорение свободного падения;

*h —* высота над поверхностью земли.

Кинетическая энергия поступательного движения снаряда в верхней точке траектории

 , (3)

где  *—* горизонтальная составляющая скорости снаряда.

Кинетическая энергия вращения снаряда

, (4)

где —момент инерции снаряда;

—угловая скорость вращения.

Подставив (2), (3) и (4) в (1), получим

. (5)

Поступательное движение снаряда по траектории может быть рассмотрено в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси (см. пример 1.3). Подъем снаряда на высоту *h* связан с наличием у снаряда, движущегося под действием силы тяжести, начальной скорости в вертикальном направлении  (движение при подъеме в вертикальном направлении равнозамедленное):

*,* (6)

где *g —* ускорение свободного падения;

*t—*время подъема снаряда до вершины траектории.

Его выразим из уравнения изменения скорости в равнозамедленном движении. Учитывая, что в вершине траектории снаряда вертикальная составляющая скорости обращается в нуль, можем написать

*,*

откуда

*.* (7)

Подставив (7) в (6), получим:

 (8)

так как угол между вектором начальной скорости снаряда и горизонтом равен  и *.* По той же причине горизонтальная составляющая скорости снаряда

***.*** (9)

Момент инерции снаряда, как цилиндра с закрытыми торцами равен

,(10)

где  — момент инерции торца цилиндра;

—момент инерции цилиндрической оболочки;

—момент инерции «начинки» снаряда.

Для вычисления составляющих момента инерции снаряда необходимо расчленить его массу на массы указанных элементов. Объем торцевого элемента диаметром *d* и толщиной 

.

Масса этого элемента

, (11)

где —плотность стали.

Объем цилиндрической оболочки снаряда

 ,

где  *—* условная длина цилиндрической части снаряда.

Масса оболочки:

. (12)

Аналогично, масса «начинки» снаряда

 (13)

Неизвестную величину  вычислим, составив уравнение известной массы снаряда:



или, используя (12) и (13)

**.**

Отсюда, подставив (11), имеем



Выпишем данные правой части полученного выражения, подставим и вычислим :





Подставим полученный результат вместе с другими известными данными в формулу (12) и вычислив, получим



Выполнив аналогичные действия с формулой (13) получим



Вернемся к формуле (10). Поскольку торцы цилиндра имеют форму диска, то



Оболочка снаряда является толстостенным цилиндром, для которого



где  и - радиусы наружной и внутренней поверхностей.

Выражая величину  через данные условия и полученную массу, можем написать

.

"Начинка" снаряда имеет форму сплошного цилиндра, поэтому

.

Подставив (14),(15) и (16) в (10) получаем:

.

Угловая скорость вращения снаряда

.

Подставив (8), (9), (17) и (18) в (5), получаем





Выполним подстановку и вычисления :





**Пример 1.7.** На концах стержня массой  и длиной *,* качающегося в вертикальной плоскости относительно горизонтальной оси, перпендикулярной стержню и проходящей на расстоянии  от верхнего его конца, укреплены грузы  - на верхнем и — на нижнем концах. Угловая амплитуда колебаний *.*

Определить приведенную длину физического маятника, его кинетическую и потенциальную энергии при фазе , а также момент времени , соответствующий этому условию. Начало отсчета времени принять в момент нахождения маятника в положении равновесия.

**Решение*.*** Величина угловой амплитуды ( градуса) соответствует гармоническому характеру колебаний. При соответствующем выборе начала отсчета времени основное уравнение гармонических колебаний имеет вид:

*,*

где *А -* линейная амплитуда центра масс физического маятника;

 - циклическая частота его колебаний;

*t -* время.

Учитывая, что по характеру колебания физического маятника (качания) являются элементами вращательного движения, выразим искомые компоненты механической энергии маятника через угловые величины. Кинетическая энергия

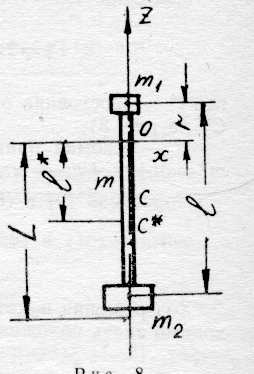
, *(1)*

где  *—* момент инерции маятника относительно оси качаний.

Потенциальная энергия

. (2)

Выразим через данные условия задачи момент инерции  маятника относительно оси качании. Из рис. 8 видно, что



, (3)

где —момент инерции стержня, центр масс которого (точка С) делит длину стержня по- полам;

 — момент инерции груза *;*

 - момент инерции груза  (все моменты инерции вычисляются относительно оси, проходящей через точку О). В соответствии с теоремой Штейнера

Рис. 8

**,** (4)

где  - момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через центр масс стержня *С.*

Считая грузы точечными массами, выразим

, (5)

 (6)

Подставив (4—6) в (З), получим

. (7)

Циклическая частота колебаний

 (8)

где  - период колебаний физического маятника.

Известно, что

 , (9)

где  - расстояние от оси до центра масс маятника (точка  на рис. 8 );

 - искомая приведенная длина физического маятника;

 - масса физического маятника.

Подставим (9) в (8), получим

 , (10)

Ход решения подсказывает, что для нахождения  и  необходимо знать положение центра масс маятника. Известно, что

 ; 

Применительно к данной задаче, когда все центры масс составляющих систему тел лежат на оси (ось z, рис. 8), можем полагая что начало оси z в точке О, записать:

.

Вычислим координату центра масс  физического маятника. Учитывая, что , то



Выполним подстановку и вычисления:



Заметим попутно, что числитель в (11) представляет собой момент инерции физического маятника относительно оси качаний, который равен .

Подставим полученный в (11) результат в (10) и вычислим:



Подставим полученные величины в формулы (1, 2), учитывая, что    , и вычислим:

.

.

Определим расчетный момент времени:

.

Отсюда .

**3. Молекулярная физика и термодинамика**

Количество однородного вещества (в молях):

 или ,

где - количество молекул вещества;

 - постоянная Авогадро;

*m-* масса вещества;

- молярная масса вещества.

Если система представляет собой смесь нескольких веществ, то количество вещества системы

 или ,

где —соответственно количество вещества, количество молекул, масса, молярная масса -го компонента смеси.

Уравнение состояния идеального газа:

,

где *р -* давление газа;

*V -*  объем газа;

v - количество вещества;

*R -*  универсальная газовая постоянная;

*Т -*  абсолютная термодинамическая температура газа.

Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

***,***

где  *-* парциальные давления компонентов смеси,

*п-* количество компонентов смеси.

Молярная масса смеси газов

,

где -масса -го компонента смеси;

 - молярная масса - го компонента;

*п -* количество компонентов смеси;

*т -* масса смеси;

v - количество вещества смеси.

Массовая доля -го компонента смеси *,*

Концентрация (количество молекул в единице объема) вещества в любом агрегатном состоянии

,

где - количество молекул вещества;

 - количество молей вещества;

- молярная масса вещества;

- объем вещества

- постоянная Авогадро;

- плотность вещества.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов:

,

где - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Средняя кинетическая энергия молекулы



где - число степеней свободы молекулы;

- постоянная Больцмана;

*Т-* абсолютная (термодинамическая) температура газа,



где  - число степеней свободы, соответствующих поступательному движению.

Средняя кинетическая энергия вращательного движения молекулы

,

где  - число степеней свободы молекулы, соответствующих вращательному движению.

Зависимость давления (парциального) газа от концентрации молекул (концентрации молекул данного компонента) и температуры

*.*

Скорость молекул

 (средняя квадратичная);

 (средняя арифметическая);

 (наиболее вероятная),

где - масса одной молекулы.

Среднее количество соударений молекулы газа за единицу времени

*,*

где *d -* эффективный диаметр .молекулы;

*п -* концентрация молекул газа.

Средняя длина свободного пробега молекулы газа

.

Закон диффузии (закон Фика):

*,*

где *т -* диффундирующая масса вещества;

*D -* коэффициент диффузии;

 - градиент плотности вещества в направлении потока массы;

*S* - площадь поперечного сечения расчетного диффузионного потока;

*t* - продолжительность диффузии.

Для идеального газа

***.***

Закон теплопроводности (закон Фурье):

,

где *Q -* теплота, проходящая через площадку *S,* перпендикулярную направлению теплопроводности (ось *х) за* время *t;*

*-* коэффициент теплопроводности;

 - градиент температуры в направлении теплового потока.

Для идеального газа :

*.*

**Пример 1.8.** Углекислый газ в объеме *=* 15 л создает давление . Аргон в объеме =20 л при той же температуре находился под давлением 1,5 *МПа*. Объемы соединили, и газы образовали смесь без изменения температуры. Определить давление смеси, парциальные давления, массы и концентрации молекул компонентов смеси, учитывая, что энергия вращательного движения молекулы составляет .

**Решение.** Первый способ: 1) Уравнения состояния чистых компонентов, если считать их идеальными газами, имеют вид:

*,* (1)

*,* (2)

где  - молярная масса углекислого газа;

 - молярная масса аргона.

При тех же условиям уравнения состояния компонент в смеси газов имеют вид:

*,* (3)

*,* (4)

где  и  *—* парциальные давления соответственно углекислого газа и аргона.

В силу равенства правых частей уравнений (1) и (3), а также (2) и (4), приравняем их левые части. Полученные выражения позволяют выразить парциальные давления:

, (5)

 (6)

Формулы (5) и (6), очевидно, не нуждаются в проверке методом анализа наименований физических единиц, поэтому при подстановке в виде исключения можем воспользоваться данными условия задачи без преобразования единиц





Давление смеси 

2) Для вычисления масс и концентраций молекул компонентов смеси необходимо знание температуры. Учитывая, что вращение одноатомной молекулы аргона не является энергоемким, заведомо отличная от нуля энергия вращательного движения может принадлежать только молекуле  , причем вращательное движение такой молекулы характеризуется тремя степенями свободы (). Энергия вращательного движения молекулы по закону Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекулы, выражается:

 , (7)

где  - постоянная Больцмана;

*Т* – абсолютная термодинамическая температура.

Из (7) имеем



Подставим числовые значения величин и вычислим:



3) Концентрация молекул первого компонента

****,(8)

где  *—* количество молекул данного компонента.

Известно, что

, (9)

где  - количество вещества компонента;

- постоянная Авогадро.

В свою очередь, из (1) имеем

 (10)

Подставив (10) в (9) и, затем, в (8), получаем

***.*** (11)

Аналогично для второго компонента:

 (8а)

. (9а)

Из (2):  (10а)

 (11а)

Проверим формулы (11), (11a) анализом наименований физических единиц:



Учитывая, что 



получим





4) Массы компонентов вычислим как произведения количества молекул компонента на массу одной молекулы:

; ,

где - масса молекулы первого компонента ();

- масса молекулы второго компонента ().

Учитывая, что

; ,

а также формулы (8) и (8а), получим:

; .

Правильность полученных формул с точки зрения анализа наименований физических величин очевидна. Поэтому выполним подстановку и вычисления:





Второй способ решения задачи (обозначения те же):

а) Определение температуры (см. п. 2).

б) Определение массы 'компонентов смеси.

Из формулы (1) имеем:



Проверка:



Аналогично из формулы (2):



Подставим числовые значения и вычислим:

;



*в)* Вычисление концентрации молекул компонентов. Исходными выражениями концентрации являются формулы **(8)** и (8а). Подставим соответственно в них выражения:

 ;  и получим:

 .

Проверка формул:

.

Подставим числовые значения физических величин и произведем вычисления:

;



) м уравнением молекулярно-ачи г) В соответствии с основным уравнением молекулярно кинетической теории выразим парциальные давления компонентов смеси:

;(12)

,(13)

где **-** средняя энергия поступательного движения молекулы.

В соответствии с законом Больцмана о распределении энергии то степеням свободы молекулы.

. (14)

Подставив (14) в (12) и .(13), получим:

*;*

*.*

Проверим формулы методом анализа наименований единиц физических величин:



Вычислим парциальные давления:





Давление смеси

.

**Пример 1.9.** Смесь состоит из углекислого газа с массовой долей  и неона с массовой долей  при давлении . Концентрация молекул составляет . Определить плотность смеси и молярную внутреннюю энергию.

**Решение.** 1) Считая смесь идеальным газом, выразим в соответствии с основным уравнением молекулярно-кинетической теории давление смеси:

,

откуда

, (1)

где *Т -* абсолютная термодинамическая температура;

*k -* постоянная Больцмана.

Выражение плотности смеси получим из уравнения состояния смеси идеальных газов:

, (2)

где  - масса углекислого газа;

 - масса неона;

- молярная масса ;

- молярная масса неона;

- универсальная газовая постоянная.

В условии задачи заданы массовые доли компонентов:

Очевидно, что

; (3)

.(4)

Подставив (3) и (4) в (2) и учитывая, что плотность смеси

,

получим

*,*

откуда

** (5)**

Подставив (1) в (5) и учитывая, что

*,*

где  — постоянная Авогадро, получим

,

Проверим полученную формулу методом анализа единиц физических величин:



Подставим числовые значения физических величин и вычислим плотность смеси:



2) Внутренняя энергия одного моля идеального газа выражается формулой

,(6)

где *i —* число степеней свободы молекулы газа.

В нашем случае *i —* условное число степеней свободы молекулы смеси газов. Смесь же состоит из молекул ** с** числом степеней свободы  и неона с числом степеней свободы . Условное число степеней свободы молекулы смеси выразим через  и *,* воспользовавшись формулой удельной изохорической теплоемкости (см. раздел 2):

****.(7)

Известно, что для идеального газа

.

Преобразовав (7) с учетом (8), получим



Если учесть, что та же величина выражена формулой (8), в которой *i —* условное число степеней свободы молекулы смеси, a *—*молярная масса смеси, становится очевидным, что

,

откуда

.

Поскольку молярная масса смеси



выразим окончательно условное число степеней свободы молекулы смеси

 (9)

Подставив (9) и (1) в (6), получим



Проверим полученную формулу методом анализа наименований единиц физических величин:

.

Подставим числовые значения физических величин, учитывая, что  и вычислим:

.

**Пример 1.10.** Определить, на сколько плотность углекислого газа в почве на глубине 0,8 м превосходит плотность этого газа вблизи поверхности почвы, если за время 2,5 часа с площади  в атмосферу вышло  газа при коэффициенте диффузии . Определить, во сколько раз почва ослабляет диффузию углекислого газа. Среднюю температуру почвы принять равной 

**Решение.** 1) Масса диффундирующего газа выражается формулой закона Фика:

*,* (1)

где *D -* коэффициент диффузии;

 - градиент плотности;

*S -* площадь поперечного сечения расчетного диффузионного потока;

*t -* продолжительность диффузии.

В нашем случае при вертикальном направлении диффузионного потока углекислого газа из почвы градиент плотности

, (2)

где *h -* расстояние между теми слоями в почве, разность плотностей газа  в которых требуется определить;

- плотность углекислого газа в почве вблизи поверхности;

- то же на глубине *h.*

Очевидно, что , т.к. . В условии задачи требуется определить разность . Учитывая это и подставив (2) в (1), выразим искомую величину:

**** (3)

Подставим в (3) числовые значения известных величин, придерживаясь единиц СИ, и вычислим результат. При этом .

.

2) Влияние среды на интенсивность диффузии определяется отношением коэффициентов диффузии, т. к. подразумевается соотношение диффундирующих масс, имевших место при одинаковых числовых значениях *.* Следовательно, ответом на второй вопрос задачи будет числовое значение отношения , где  *—* коэффициент диффузии углекислого газа через газовую среду (воздух). Известно, что

******,(4)

где  - средняя длина свободного пробега молекулы в газовой среде (воздухе);

 - средняя арифметическая скорость молекулы .

0ценим значения и  для случая диффузии углекислого газа через воздух при температуре, равной средней температур почвы

*,* (5)

где *d -* эффективный диаметр молекулы диффундирующего газа;

*п -* концентрация молекул газа, являющегося средой диффузии.

**,**(6)

где *R -* универсальная газовая постоянная;

*Т -* абсолютная термодинамическая температура;

 - молярная масса .

Подставив (6) и (5) в (4), выразим отношение

 (7)

Выразим концентрацию молекул воздуха

*****,*** (8)

где v - количество вещества;

* -* постоянная Авогадро;

*V -* объем.

По уравнению состояния идеального газа

*,*

где *р —* давление воздуха, имеем

**.** (9)

Подставив последовательно (9) в (8) и затем в (7), получим

. (10)

Учитывая, что  (атмосферное давление), ,  (справ, табл. 1),  (cправ. табл. 7),  (молярная масса ), , сделаем подстановку в (10) и вычисление:



**Пример 1.11.** Какова температура  почвы в слое на глубине , если за время  2часа с площади *S=* 300 *м*2 в почву ушло  теплоты? Определить, во сколько раз теплопроводность почвы интенсивнее теплопроводности газа (воздуха). Почва песчаная. Температура воздуха *27°C.*

**Решение.** 1) Количество теплоты, передаваемой через вещество в процессе теплопроводности, определяется законам Фурье:

*,*(1)

где  *-* коэффициент теплопроводности вещества;

 - градиент температуры в направлении передачи тепловой энергии;

*S -* площадь поперечного сечения расчетного теплового потока;

*t -* продолжительность процесса теплопроводности.

По условию задачи тепловой поток направлен вертикально вниз. В этом случае

, (2)

где *h -* глубина залегания слоя почвы с искомой температурой.

Полагая, что поверхностный слой почвы имеет температуру, равную температуре воздуха, имеем

. (3)

Подставив последовательно (3) в (2) и, затем, в (1), выразим искомую температуру:

. (4)

Сделаем подстановку и вычислим искомую величину, придерживаясь единиц СИ и с учетам (3). При этом  (справ. табл. 8).



2) Влияние среды на интенсивность процесса теплопроводности определяется отношением коэффициентов теплопроводности, т. к. сравнение интенсивностей этого процесса допустимо при одинаковых числовых значения S, *t* и . Поэтому ответом на второй вопрос условия задачи будет числовое значение отношения , где  *—* коэффициент теплопроводности воздуха.

Известно, что для газов (в том числе и для воздуха)

,

где **-** редняя длина свободного пробега молекул воздуха;

***<V>****—*средняя арифметическая скорость молекул воздуха;

 — плотность воздуха;

* —* удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме.

Следовательно, искомое отношение

****.(5)

Средняя длина свободного пробега молекулы

****,** (6)

где *d—*эффективный диаметр молекулы воздуха;

*п—*концентрация молекул воздуха.

Концентрация молекул

**,** (7)

где *N —* количество молекул в объеме *V,* которое может быть выражено через количество вещества v:

**,** (8)

где  *—* постоянная Авогадро.

Количество вещества v определим, используя уравнение состояния воздуха, считая его идеальным газом:

***,***

где *р —* атмосферное давление;

*R —* универсальная газовая постоянная;

*Т—*среднее значение абсолютной термодинамической температуры воздуха, если градиент температуры в нем создан так же, как и в почве, согласно условию задачи.

Отсюда

*******.* (9)

Подставив последовательно (9) в (8), а затем, в (7) и (6), получим

**.** (10)

Средняя арифметическая скорость молекул воздуха

**,** (11)

где — молярная масса воздуха.

Удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме

, (12)

где *i —* число степеней свободы молекулы воздуха.

Подставив (10), (11) и (12) в (5), имеем.

 (13)

Уточним числовые значения некоторых входящих в (13) величин, не попользовавшихся ранее: (справ. табл. 1);  где  тогда  (атмосферное давление);  (справ. табл 5, по ) (т. к. большинство молекул, составляющих воздух, двухатомные).

Выполним подстановку и вычисление искомого отношения коэффициентов теплопроводности:

.

**Контрольная работа № 1**

Номеразадач, составляющих контрольную работу, выбираются курсантом в таблице вариантов в зависимости от двух последних цифр шифра курсанта. Тексты условий задач приведены ниже.

**Таблица вариантов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Последняя  цифра  шифра | Предпоследняя цифра шифра | |
| Нечетная | Четная |
| Номера задач | |
| **1**  **2**  **3**  **4**  **5**  **6**  **7**  **8**  **9**  **0** | 5, 9,13,17,21,30,34,38  4, 8,12,16,25,29,33,37  3, 7,11,20,24,28,32,37  2, 6,15,19,23,27,31,40  1,10,14,18,22,26,35,39  5, 8,11,19,22,30,33,36  4, 7,15,18,21,29,32,40  3, 6,14,17,25,28,31,39  2,10,13,16,24,27,35,38  1, 9,12,20,23,26,34,37 | 1, 6,11,16,21,26,31,36  2, 7,12,17,22,27,32,37  3, 8,13,18,23,28,33,38  4, 9,14,19,29,34,24,39  5,10,15,20,25,30,35,40  1, 7,13,19,25,26,32,38  2, 8,14,20,21,27,33,39  3, 9,15,16,22,28,34,40  4,10,11,17,23,29,35,36  5, 6,12,18,24,30,31,37 |

**Задачи контрольной работы №1**

1. Две материальные точки движутся по окружности радиусом 1,2м согласно уравнениям: ξ1=А1+В1t+С1t2 и ξ2=А2+В2t+С2t2, где: ξ1 и ξ2 – криволинейные координаты, А1=8м, B1=1.8м/c, С1=-0,5м\*с-2, А2=-1м, В2=1м/с, С2=1,2м\*c-2. Определить линейную и угловую скорости, тангенциальные, нормальные, полные и угловые ускорения в момент совмещение точек.

2. Фотограф, находящийся на расстоянии L от железнодорожного полотна, хочет сфотографировать поезд, идущий со скоростью **V** в момент, когда луч зрения, проведенный от фотографа к поезду, составляет угол α с полотном дороги. Какую максимальную выдержку tmax можетдать фотограф, если допустимое размытие изображения на фотопленке не должно превышать d, а фокусное расстояние объектива фотокамеры равно F?

3. Мяч, упавший с высоты h=1м, два раза ударяется о наклонно поставленную доску. Расстояние между точками удара мяча о доску 4м. Удар мяча о доску абсолютно упругий. Сопротивлением воздуха пренебречь. Определить угол между доской и горизонтом, уравнение траектории мяча, радиус кривизны его траектории в точке наивысшего подъема после первого удара.

4. Точка равномерно вращается по окружности против часовой стрелки, делая 5 об/с. Радиус окружности 20 см. Найти смещение, скорость и ускорение проекции точки на вертикальный диаметр в тот момент, когда точка прошла треть окружности. В момент, выбранный за начальный, точка имела положительное максимальное смещение.

5.Координаты движущейся материальной точки меняются по времени: x=t; у=et; Z=0. Построить траекторию движения точки, найти скорость, полное, тангенциальное и нормальное ускорения в момент времени: t=-1,0,2с.

6. Как будет изменяться скорость тела, движущегося вертикально вверх с начальной скоростью **V**(0), если можно считать, что сила сопротивления воздуха пропорционально скорости тела?

7. Сферическая капля воды свободно падает в атмосфере пресыщенного водяного пара. Считая, что скорость возрастания массы капли dm/dt пропорциональна ее поверхности и пренебрегая силой сопротивления среды, определить движение капли. Предполагается, что в момент зарождения капли t=0; **V**(0)=0; m=0.

8. Тело соскальзывает с вершины наклонной плоскости без начальной скорости с углом α к горизонту. Коэффициент трения μ между телом и наклонной плоскостью изменяется с увеличением расстояния l от вершины по закону μ=bl. Тело останавливается, не дойдя до конца наклонной плоскости. Найти время t, прошедшее с начала движения до остановки.

9. Брусок толкнули резко вверх вдоль плоскости, образующей с горизонтом угол α. Время подъема бруска до высшей точки оказалось в два раза меньше, чем время спуска до исходной точки. Определить коэффициент трения μ между бруском и поверхностью.

10. С какой скоростью соскользнет со стола конец веревки, если в начальный момент времени t=0 она касается пола. Исходная длина веревки l, высота стола h.

11. С какой скоростью соскользнет с доски с отверстием конец шнура, если длина всего шнура l,а длина свесившейся части в t=0 равна l0.

12. Ящик массой 300кг поднимают равномерно по наклонной плоскости с углом α=300, прилагая силу, направленную под углом β=600 к горизонту. Определить величину этой силы, если коэффициент трения равен 0,1.

13. Порция угля массой m1=120кг скользит из состояния покоя по желобу длиной l=20м под углом α=300 к горизонту и падает в вагонетку массой m2=80кг. На какое расстояние откатится вагонетка при коэффициенте трения μ2=0,05, если проекция желоба на плоскость горизонта составляет угол β=200 с направлением рельсов. Коэффициент трения угля о желоб μ1=0,3.

14. Система пружин (первая и вторая соединены последовательно с третьей и четвертой, соединенных параллельно) растянуто так, что деформация первой x1=3см. Какова работа, затраченная на деформацию системы, если жесткости пружин равны: К1=500Н/м; К2=400Н/м; К3=250Н/м; К4=280Н/м?

15**.** Найти выражение ускорения и скорости тележки, движущейся под действием постоянной горизонтальной силы **F,** если на тележке лежит песок, высыпающийся через отверстие в платформе тележки. За 1 секунду высыпается ∆m песка; в момент t= 0 **V**(0) = 0, масса тележки и песка вместе равна М.

16. Из залитого подвала, площадь которого равна 50 м2 , требуется выкачать воду на мостовую. Глубина воды в подвале 1,5 м, а расстояние от уровня воды в подвале до мостовой равно 5 м. Найти работу, которую необходимо затратить для откачки воды.

17. Три лодки одинаковой массы m идут одна за другой с одинаковой скоростью **V**. Из средней лодки одновременно в переднюю и заднюю лодки бросают со скоростью **u** относительно лодки грузы массой m1. Каковы будут скорости лодок после переброски грузов?

18. Движущаяся частица претерпевает упругое соударение с покоящейся частицей такой же массы. Доказать, что после столкновения, если оно не было лобовым, частицы разлетятся под прямым углом. Как будут двигаться частицы после лобового столкновения?

19. На теннисный мяч падает кирпич, и подскакивает на высоту 50 см. Считая процесс абсолютно упругим, оценить, на какую высоту подскочит мяч

20. Тело массы m1, движущееся со скоростью **V**, налетает на покоящееся тело массы М и после упругого соударения отскакивает под прямым углом к первоначальному направлению своего движения со скоростью **V**/2. Определить массу второго тела.

21. На горизонтальной поверхности лежат два бруска массами m1 и m2, соединенные недеформированной пружиной. Какую наименьшую горизонтальную силу **F** нужно приложить к одному из брусков, чтобы сдвинулся другой брусок? Коэффициент трения брусков о поверхность равен μ.

22. Однородный тонкий стержень l = 1 м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку О, отстоящую на расстоянии l/4 от одного из торцов стержня. Стержень отклонили на угол α = 600 .Определить угловую и линейную скорости нижнего конца стержня в момент прохождения равновесия.

23. Кинетическая энергия вращающегося маховика Т = 103 Дж. Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равно замедленно и, сделав 80 оборотов, остановился. Определить момент силы торможения.

24. Однородный стержень длиной l подвешен за конец. На каком расстоянии от точки подвеса должна ударить пуля, чтобы реакция со стороны оси отсутствовала?

25. С наклонной плоскости скатываются без скольжения сплошной цилиндр и тележка, поставленная на легкие колеса. Массы цилиндра и тележки одинаковы. Какое из тел скатится быстрее и во сколько раз?

26. Расположенный горизонтально однородный цилиндр массы М и радиуса R начинает вращаться без трения вокруг горизонтальной оси под действием груза Р, прикрепленного к легкой нити, намотанной на цилиндр. Найти время τ, за которое груз Р спустили с высоты h?

27. В земном шаре имеется узкий туннель, проходящий через его центр, внутри которого находится тело массы m. Каков характер движения тела и чему равно характерное время?

28. Определить максимальную и минимальную частоты колебаний системы (два тела одинаковой массы m1 = m2 = m на горизонтальных растяжках, каждая длиной в треть длины L всей системы), если сила натяжения **Fн** постоянна. Каков характер движения тел?

29. Определить частоту колебаний тела массы m, находящегося на горизонтальной растяжке длиной L, если сила натяжения растяжки **Т**?

30. Определить период колебаний математического маятника, если его модуль максимального перемещения ∆r = 18 см и максимальная скорость 16 см/с?

31. В вертикальном, закрытом снизу и сверху цилиндре, находится поршень. Над поршнем и под ним имеются одинаковые массы одного и того же газа. При температуре 300К вес поршня уравновешивается разностью сил давления газа, если объем газа под поршнем в три раза меньше, чем объем над ним. Каково будет соотношение объемов газа, если температуру увеличить до 400К?

32. Цилиндр, изготовленный из тепло непроводящего материала, разделен тепло непроводящей перегородкой на две части, объемы которых V1 и V2. В первой части находится газ при температуре Т1 под давлением Р1, во второй - такой же газ, но при температуре Т2 и давлении Р2. Какая температура газа установится, если перегородку убрать?

33. Углекислый газ в объеме V1= 15 l создает давление 1МПа. Аргон в объеме V2=20 l при той же температуре находится под давлением 1,5 МПа. Объемы соединили, и газы образовали смесь без изменения температуры. Определить давление смеси, парциальные давления, массы и концентрации молекул компонентов смеси (энергия вращательного движения молекулы составляет 0,58\* 10-20 Дж).

34. Смесь состоит из углекислого газа массовой долей ω1 =1/8 и неона с массовой долей ω2 =7/8 при давлении 3 атм. Концентрация молекул составляет 0,5\* 1028 м-3. Определить плотность смеси и молярную внутреннюю энергию.

35 .Кристалы NaCl кубической системы состоят из чередующихся атомов Na и Cl. Плотность соли 2200кг/м3. Определить межатомное расстояние.

36. При взрыве ядерного заряда плутония Pu242 массой m=1кг получается одна радиоактивная частица на каждый атом Pu. Предполагая, что ветры равномерно перемешивают эти частицы по всей атмосфере, подсчитайте число радиоактивных частиц, попадающих в объем 1дм3 у поверхности Земли.

37. При комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении допускается вытекание метана из плиты не более 1,1\*10-8 м3/с. Определить количество молекул газа, появившихся в комнате вследствие такого вытекания, если плита была включена в течение трех часов.

38. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа при нормальных условиях 461м/с. Какое количество молекул содержится в 1г этого газа?

39. Найти плотность газовой смеси, состоящей по массе из одной части водорода и восьми частей кислорода при давлении 720мм.рт.ст. и температуре 150С.

40. Какая часть молекул воздуха n/n при Т=1К обладает скоростями, отличающимися не больше, чем на 0,5м/с от наивероятнейшей скорости?

**РАЗДЕЛ 2.**

**ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**

**ПРОГРАММА**

**3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

Обратимые и необратимые тепловые процессы. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Энтропия. Определение энтропии неравновесной системы через статистический вес состояния. Принцип возрастания энтропии. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Максимальный КПД тепловой машины.

**4. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**

Предмет классической электродинамики. Идея близкодействия. Электрический заряд и напряженность электрического поля. Дискретность заряда.

**4.1. Электростатика**

Закон Кулона. Принцип суперпозиции. Электрический диполь. Поток вектора напряженности поля и вектора электрической индукции. Электростатическая теорема Гаусса. Густота силовых линий. Работа электростатического толя. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля. Потенциал. Связь потенциала с напряженностью электростатического поля.

Проводник в электростатическом поле. Идеальный проводник. Поверхностная плотность заряда. Граничные условия на границе «проводник-вакуум». Электростатическое поле в полости. Электростатическая защита. Электростатическая емкость и электростатическая индукция. Емкость конденсаторов различной геометрической конфигурации.

Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия системы заряженных проводников. Энергия конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.

**4.2. Статистическое поле в веществе**

Плоский конденсатор с диэлектриком. Энергия диполя во внешнем электростатическом поле. Поляризационные заряды. Поляризованность. Неоднородная поляризованность. Электрическое смещение. Основные уравнения электростатики диэлектриков. Граничные условия на границе раздела «диэлектрик—диэлектрик» и «проводник—диэлектрик». Плотность энергии электростатического поля в диэлектрике.

**4.3. Постоянный электрический ток**

Разряд конденсатора, проводники и изоляторы. Условие существования тока. Законы Ома и Джоуля Ленца в дифференциальной форме. Сторонние силы. Электродвижущие силы (ЭДС) гальванического элемента. Закон Ома для участка цепи c гальваническим элементом. Правила Кирхгофа. Электрический ток в сплошной среде. Заземления в линиях электропередач.

**4.4. Элементы физической электроники**

Электрический ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. Электрический ток в газе. Процессы ионизации и рекомбинации. Электропроводность слабо ионизированных газов. Понятие о плазме.

**Указания к решению задач**

При решении представленных в данном разделе термоди­намических задач всегда приходится иметь дело с некоторым определенным количеством какого-либо газа (термодинамической системой). Состояние такой системы описывается совокупностью параметров состояния: давления *р,* температуры *Т* и объема *V.*

**Основы термодинамики**

*Первое начало (закон) термодинамики*

Количество теплоты Q, переданное системе (газу), идет на изменение внутренней энергии  и на работу *А,* совершаемую системой (газом) против внешних сил.



Количество теплоты Q, необходимое для нагревания тела, определяется то формуле

,

где с—удельная теплоемкость тела;

*т—* масса тела;

 — изменение температуры тела.

Существуют удельные теплоемкости газа при постоянном объеме () и постоянном давлении ():

*.*

Связь между удельной (с) и мольной *(С)* теплоемкостями:

 , .

Уравнение Майера:

.

Удельная теплоемкость смеси газов:

*,*

.

где  — удельная теплоемкость *i*-ro компонента смеси;

* —* массовая доля *i*-го компонента смеси.

Внутренняя энергия идеального газа



Работа, совершаемая газом

.

При изохорическом процессе (V=const) работа, совершаемая газом *A*=0, тогда

.

Известно, что изменение внутренней энергии выражается формулой

*,*

тогда

***,***

^

где *m*— масса газа;

*—*молярная масса (масса одного моля),

 — молярная теплоемкость газа три постоянном объеме;

—изменение температуры газа.

*При изотермическом процессе* изменение внутренней энергии

, так как *T*==const.

Теплота, подводимая газу, полностью затрачивается на совершение работы:

*Q=A.*

Работа при изотермическом расширении газа определяется по формуле

**,**

поэтому

,

где  и —начальный и конечный объемы газа.

*При изобарическом процессе* (p=const) работа, совершаемая газом, равна

****,

где — изменение объема гaзa.

Количество теплоты, подводимое к газу при его изобарическом расширении, определяется уравнением:

****,

где — молярная теплоемкость газа при постоянном давлении.

*При адиабатическом процессе,* т. е. процессе, который происходит без теплообмена с окружающей средой, Q==0.

Следовательно, газ выполняет работу за счет изменения своей внутренней энергии

.

Изменение внутренней энергии

*,*

тогда:

,

где ,  и —начальная и конечная температуры газа.



где — показатель адиабаты, равный отношению теплоемкостей:

.

*Уравнения Пуассона*

Эти уравнения выражают взаимную связь параметров газа (давления, объема и температуры) при адиабатических процессах и могут быть представлены в следующих видах:

1)  

2); 

3**)  **

*Круговые процессы (циклы)*

Термический к.п.д. тепловой машины



Термический к.п.д. идеальной тепловой машины (обратимого цикла Карно):

 ,

где  — количество теплоты, полученное газом от нагревателя;

 — количество теплоты, отданное охладителю;

 и  *—* абсолютные температуры нагревателя и охладителя.

**Пример 2.1.** Определить изобарическую теплоемкость идеального газа, занимающего при температуре  и давлении  объем *V*=98,9 *л* и имеющего изохорическую теплоемкость . Определить также молярные изохорическую и изобарическую теплоемкости этого газа.

**Решение.** Изобарическую теплоемкость некоторого количества газа можно выразить формулой

, (1)

где *v —* количество вещества, содержащегося в газе;

— молярная изобарическая теплоемкость этого газа.

Известно, что

, (2)

где *i—* число степеней свободы молекулы газа;

 —универсальная газовая постоянная.

Количество вещества в газе определим из уравнения состояния газа:

*pV==vRT,*

откуда

***.*** (3)

Подставив (2) и (3) в (1), получим:

. (4)

Выражая аналогично изохорическую теплоемкость газа, получим

,(5)

,

откуда



Вычислим число степеней свободы молекулы газа, предварительно убедившись в

правильности полученной формулы анализом наименований единиц физических величин:



Вычислим искомые величины по формулам (4), (5), (2):







**Пример 2.2.** Определить молярные изохорическую и изобарическую теплоемкости влажного воздуха при температуре  и относительной влажности =93%. Считать газ двухкомпонентной смесью.

**Решение.** Компонентами влажного воздуха считаем сухой воздух с молярной массой  и водяной пар, молярная масса которого . Поскольку сухой воздух более чем на 99% состоит из двухатомных молекул ( и др.), число степеней свободы первой компоненты принимаем . Трехатомные молекулы водяного пара имеют  степеней свободы.

Молярные теплоемкости влажного воздуха вычислим по традиционным формулам

** **,(1)

где —универсальная газовая постоянная;

*i —* условное число степеней свободы молекулы смеси газов.

Условное число степеней свободы вычислим по формуле (9) из примера 1.9:

 , (2)

где  и *—* массовые доли компонентов.

Вычислим массовые доли компонентов по формулам:

** **,(3)

где  и  - плотности компонентов смеси газов.

По существу  — это абсолютная влажность воздуха. Заданная в условии задачи относительная влажность связана с  соотношением

 ,

где  — плотность насыщающих паров при данной температуре воздуха. Отсюда

****.

при . Следовательно

.

Уравнение состояния водяного пара, растворенного в воздухе, выраженное через  имеет вид:

,

где  — парциальное давление (упругость) водяного пара.

Вычислим , учитывая, что :



Атмосферное давление

 т.к. ,

где  *—* парциальное давление сухого воздуха.

В силу этого плотность сухого воздуха  можно взять по таблице для нормального атмосферного давления в зависимости от температуры. При 

Воспользуемся формулой(3):



Вычислим условное число степеней свободы по формуле (2):



Вычислим молярные теплоемкости по формулам (I):

;

.

**Пример 2.3.** Идеальная тепловая машина работает при температуре нагревателя , имея гелий в качестве рабочего газа. Определить работу, выполняемую машиной за один цикл, термический к.п.д. цикла, температуру охладителя и массу газа, совершающего цикл, если в процессе адиабатического расширения при увеличении втрое объема газа им совершена работа . При этом в процессе изотермического расширения объем газа увеличился в 4 раза.

**Решение.** График цикла Карно представлен на рис. 9.

Для адиабатного процесса имеем:

****,(1)

где  *—* температура нагревателя;

— температура охладителя;

 — отношение конечного и начального объемов газа при адиабатном расширении;

*—*показатель адиабаты.

Показатель адиабаты *,* а подставив значения  и  получим, что 



Рис. 9

По условию задачи имеем, что рабочий газ гелий.

Это газ одноатомный, следовательно, число степеней свободы =3.

Подставив численные значения, получим

.

Из соотношения (1) выразим 



Для определения термического к. п. д. цикла воспользуемся формулой КПД идеальной тепловой машины.



Работа для адиабатного процесса определяется по формуле

*,**(2)*

где *m—*масса газа;

 — молярная масса;

*i—*число степеней свободы молекулы;

*R —* универсальная газовая постоянная.

Массу газа выразим из (2), тогда

.

Работа *А* для изотермического процесса по 1-му закону термодинамики равна , тогда

.

Тогда работа цикла с учетом термического к. п. д. равна:

.

*Поверхностные явления*

Коэффициент поверхностного натяжения:

 или 

где F*—*сила поверхностного натяжения, действующая на контур, ограничивающий поверхность жидкости;

 — изменение свободной энергии поверхности жидкости, связанной с изменением площади  поверхности этой пленки.

Формула Лапласа, выражающая давление *р,* создаваемое сферической поверхностью жидкости:

,

где *R —* радиус сферической поверхности.

Рис. 10

Высота подъема жидкости в капиллярной трубке определяется по формуле Жюрена и показана на рис. 10.

,

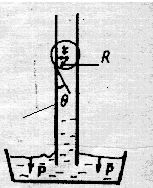
где -краевой угол ( при полном смачивании стеклянной трубки жидкостью,  при полном не смачивании) ;

*R—*радиус капилляра;

 —плотность жидкости;



*g—* ускорение свободного падения.



**Пример 2.4.** Определить работу, затраченную на выдувание мыльного пузыря радиусом 6 см. Каково отличие давления внутри пузыря от атмосферного?

**Решение.** Работа, которую нужно совершить, чтобы, растягивая пленку, увеличить ее поверхность на **,** выражается формулой

** или *,*

где  — коэффициент поверхностного натяжения мыльной воды, который равен , диаметр пузыря . В данном случае —общая площадь двух сферических поверхностей пленки мыльного пузыря;  *—* общая площадь двух поверхностей плоской .пленки, затягивающей отверстие трубки до выдувания пузыря. Пренебрегая *,* получим

*A*=*.*

Произведем вычисления

.

Таким образом, пленка мыльного пузыря имеет две сферические поверхности — внешнюю и внутреннюю. Обе поверхности оказывают давление на воздух, заключенный внутри пузыря. Так как толщина плевки чрезвычайно мала, то диаметры обеих поверхностей практически одинаковы. Поэтому добавочное давление



где *R—*радиус пузыря.

Так как *R=d/2,* то

.

Тогда



**Пример 2.5.** В почвенном монолите за счет его пористости (капиллярности) вода поднимается на высоту *h=* 30 см. Считая, что поры имеют цилиндрическую форму, а вода полностью омачивает почву, определить диаметр *d* почвенных капилляров.

**Решение.** Согласно формуле Жюрена, учитывая, что *d=2R,*

 .

Откуда

,

где  - коэффициент поверхностного натяжения,

 — плотность воды,

 - краевой угол при полном смачивании

.

*Электростатика. Постоянный ток*

Электрическое взаимодействие—это взаимодействие на расстоянии. Материальная субстанция, непосредственно контактирующая с объектами, взаимодействующими на расстоя­нии, называется полем. Объектами электрического взаимодействия являются заряженные тела (заряды). Посредником в электрическом взаимодействии является электрическое поле. Сила взаимодействия зарядов может быть выражена как через величины зарядов (закон Кулона), так и через величину одного из зарядов и силовую характеристику (напряженность) электрического поля, созданного в этом пространстве другим зарядом.

Закон Кулона:

,

где сила, приложенная к заряду  со стороны заряда 

—вектор расстояния от заряда  до заряда *,*

 — диэлектрическая проницаемость;

 — электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля и его потенциал в данной точке поля

, ,

где *F—*сила, действующая на заряд *,* находящийся в данной точке поля;

*П —* потенциальная энергия точечного положительного заряда *q,* находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда

,  *.*

Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей)

, ,

где - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого -м зарядом.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом

, ,

где *—* расстояние от заряда *q* до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом *R* на расстоянии  от центра сферы

а)  *,* (при  ) ;

б) ,  (при  );

в**) , ** (при ****),

где *q —* заряд сферы.

Линейная плотность заряда

.

Поверхностная плотность заряда

.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого распределенными зарядами. Если заряд равномерно распределен вдоль линии с линейной плотностью , то на линии выделяется малый участок длиной *dl* с зарядом *.* Такой заряд можно рассматривать как точечный и применять формулы

, 

где *—* радиус-вектор, направленный от выделенного элемента к точке, в которой вычисляется напряженность.

Используя принцип суперпозиции электрических полей, находим интегрированием напряженность *Е* и потенциал  поля, создаваемого распределенным зарядом:

Интегрирование ведется вдоль всей длины  заряженной линии.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной нитью или бесконечно длинным цилиндром

,

где *r—*расстояние от нити или оси цилиндра до точки, напряженность поля которой вычисляется.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью

.

Связь потенциала с напряженностью:

а) ; или  (в общем случае );

б)  (в случае однородного поля);

в)  (в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией).

**Пример 2.6.** Заряд *q* равномерно распределен на стержне длиной . Заряд  находясь на оси стержня на расстоянии *а* ==15 *см* от его конца, взаимодействует со стержнем силой . Определить линейную плотность заряда на стержне.

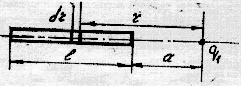


Рис . 11.

**Решение.** Сила взаимодействия *F* заряженного стержня с точечным зарядом  зависит от линейной плотности  заряда на стержне. Зная эту зависимость, можно определить . При вычислении силы *F* следует иметь в виду, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применить нельзя. В этом случае можно поступить следующим образом. Выделим на стержне (рис. 11) малый участок *dr* с зарядом *.* Этот заряд можно рассматривать как точечный. Тогда, согласно закону Кулона

.

Интегрируя это выражение в пределах от *а* до , получим



откуда интересующая нас линейная плотность

.

В правую и левую части формулы вместо символов величин подставим их единицы с целью проверить, дает ли это выражение единицу линейной плотности.



Подставим числовые значения величин в полученную формулу и произведем вычисления:

..

**Пример 2.7.** Заряды  и  находятся на расстоянии  друг от друга. Определить напряженность *Е* и потенциал  в точке, находящейся на расстоянии  от первого заряда и  от второго заряда. Какой силой потребуется удержать в этой точке заряд ?

**Решение.** Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность  электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей  и полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: .

Напряженность электрического поля, создаваемого в воздухе () зарядам *,* равна

 (1)

зарядом  *—* *.* (2)

Вектор  (рис. 12) направлен по силовой линии от заряда, так как заряд  положителен; вектор  направлен также по силовой линия, но к заряду *,* так как заряд  отрицателен.

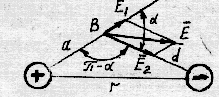


Рис. 12.

Абсолютное значение вектора *Е* найдем по теореме косинусов:

**** (3)

где угол между векторами  и *,* который может быть найден из треугольника со сторонами *r, a, d:*

.

В данном случае во избежание громоздких записей удобно значение cos  вычислить отдельно:

.

Подставляя выражение *\* из формулы (1) и  из формулы (2) в равенство(3) и вынося общий множитель - за знак корня, получим

.(4)

Подставим числовые значения величин в формулу (4) и произведем вычисления:



Силу *F,* которая потребуется, чтобы удержать заряд в точке *В* (см. рис. 12), найдем исходя из следующих соображений. Напряженность поля в точке *В*

,

где *F —* сила, действующая на заряд , находящийся в точке *В.* Удерживается заряд  *в* точке *В* силой, компенсирующей силу *F*, и численно ей равной

*.*

Подставим численные значения и вычислим

.

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей потенциал  результирующего поля, создаваемого двумя зарядами  и *,* равен алгебраической сумме потенциалов, т. е.

 (5)

Потенциал электрического толя, создаваемого в вакууме точечным зарядом *q* на расстоянии  от него, выражается формулой

 . (6)

В нашем случае согласно формулам (5) и (6) получим



или

.

Подставив в это выражение числовые значения физических величин, получим



**Пример 2.8.** Длинный цилиндр радиусом  несет равномерно распределенный по поверхности заряд. На расстоянии  от поверхности цилиндра находится точечный заряд , взаимодействующий с цилиндром силой . Определить поверхностную плотность заряда на цилиндре.

**Решение.** Значение силы *F,* действующей на точечный заряд *q,* связано с напряженностью электрического поля в точке расположения заряда. В окрестности бесконечно длинного заряженного цилиндра напряженность поля будет перпендикулярна оси цилиндра (рис. 13).

Рис. 13.



В проекции на направление поля можно записать

*F=qE,*(1)

где *Е —* напряженность поля.

Для выражения *Е* применим теорему Остроградского— Гаусса:

, (2)

где  *—* заряды, попадающие внутрь произвольно построенной замкнутой поверхности .S;

*—*проекция вектора *Е* на нормаль к поверхности в точке, произвольно взятой на этой поверхности.

Построим поверхность S в виде диска толщиной *dl* и радиусом , ось которого совпадает с осью цилиндра. Часть поверхности цилиндра, вырезанная поверхностью *S,* имеет величину *.* Во всех точках на поверхности *S* вектор  параллелен торцевым плоскостям диска. Поэтому для точек на цилиндрической поверхности радиуса *Rg* спра­ведливо *,* а для точек на торцевых плоскостях диска, соответственно, . В соответствии с условиями, сформированными выбором поверхности S, равенство (2) примет

вид:

, (3)

где —поверхностная плотность заряда цилиндра.

Подставив в (3) выражения для *Rg* и *Е* (из (1)), получим после упрощения:

.

Выпишем в СИ числовые значения величин, содержащихся в правой части формулы (4):



Проверим формулу (4) методом подстановки наименований единиц физических величин:



Выполним подстановку и вычислим:



**Пример 2.9.** Пластины плоского конденсатора, заряженные зарядом , притягиваются в воздухе ссилой F=600мкН. Определить площадь пластин конденсатора.

**Решение.** Заряд *q* одной пластины находится в поле напряженностью *,* созданном зарядом другой пластины конденсатора. Следовательно, на первый заряд действует сила

*.*(1)

Так как

,(2)

где - поверхностная плотность заряда пластины, то формула (1) с учетом выражения (2) примет вид

 (3)

Тогда

**.** (4)

Подставив числовые значения величин в формулу (4), получим



Работа сил поля по перемещению заряда *q* из точки поля с потенциалом  в точку с потенциалом 

.

Электроемкость

 или ***,***

где —потенциал проводника (.при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю);

*U —* разность потенциалов пластин конденсатора.

Электроемкость уединённой проводящей сферы радиусом *R:*



Электроемкость плоского конденсатора:

**,**

где S—площадь пластины (одной) конденсатора;

*d—*расстояние между пластинами.

Электроемкость батареи конденсаторов:

а)  (при последовательном соединении);

б)  (при параллельном соединении),

где *N —* число конденсаторов в батарее.

Энергия заряженного конденсатора:

Объемная плотность *w* (энергия электростатического поля на единицу объема)

.

Сила тока

*,*

где *q—*заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время *t.*

Плотность тока:

*,*

где S — площадь поперечного сечения проводника.

Закон Ома:

а)  (для участка цепи, не содержащего э.д.с.);

где -разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи;

*R —* сопротивление участка;

б) - (для участка цепи, содержащего э. д. с.),

где — алгебраическая сумма э. д. с. источников тока, имеющихся в цепи;

*R —* полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

в)  - (для замкнутой (полной) цепи),

где *R —* внешнее сопротивление цепи;

*—*внутреннее сопротивление цепи (сопротивление источника тока).

Сопротивление *R* и проводимость G проводника

 ,

где  — удельное сопротивление;

—удельная проводимость;

—длина проводника;

—площадь поперечного сечения проводника.

Сопротивление системы проводников  определяется из следующих соотношений:

а) - (при последовательном соединении);

б)  - (при параллельном соединении),

где *Ri —* сопротивление -го проводника.

Работа тока

*  .*

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение *U,* последние две—для участка, не содержащего э. д. с.

Мощность тока

*  .*

Закон Джоуля—Ленца

*.*

**Пример 2.10.** Электрон, обладающий кинетической энергией  влетел в однородное электрическое поле с напряженностью  в направлении поля и прошел в нем расстояние . Определить скорость электрона в конце указанного пути.

**Решение.** В соответствии с определением вектора напряженности электрического поля *,* на электрон, влетевший в направлении вектора напряженности поля, действует сила *,* направленная противоположно движению. Следовательно, электрон тормозится под действием этой силы *F* (рис.14**).** На пути движения электрона электрическое поле совершает работу *А.*



Рис. 14

*,*(1)

где *е—*заряд электрона; ;

*U —* разность потенциалов на пути движения.

Работа сил электростатического поля затрачена на изменение кинетической энергии электрона

*,* **(**2)

где  и *. —* кинетические энергии электрона до и после прохождения замедляющего поля.

Кинетическая энергия электрона в конце пути

**,** (3)

где *т,*— масса электрона;

 — скорость электрона в конце пути.

Считая, что электрическое поле является однородным, используем связь между его напряженностью *Е* иразностьюпотенциалов *U* на отрезке пути, пройденном электроном

*.*(4)

Подставив (3) и (4) в выражение (2), получим

*.*(5)

Выразим скорость электрона  *в* конце пути

.

Подставим числовые значения

.

**Пример 2.11.** Конденсатор емкостью  был заряжен до разности потенциалов *.* После отключения от источника тока конденсатор соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью **.** Какая энергия *W* израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

**Решение.** Энергия, израсходованная на образование искры

*,*(1)

где  *—* энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора;

 энергия, которую имеет батарея, составленная из двух конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

, (2)

где - емкость конденсатора или батареи конденсаторов.

Выразив по формуле (1) энергии  и  по формуле (2) и приняв во внимание, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

 , (3)

где - разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что заряд после присоединения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов  следующим образом:

 (4)

Подставив выражение  в (3), найдем



или



Произведем вычисления:



**Контрольная работа № 2**

Номеразадач, составляющих контрольную работу, выбираются слушателем в таблице вариантов в зависимости от двух последних цифр шифра курсанта. Тексты условий задач приведены ниже.

# Таблица вариантов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Последняя  цифра  шифра | Предпоследняя цифра шифра | |
| Нечетная | Четная |
| Номера задач | |
| **1**  **2**  **3**  **4**  **5**  **6**  **7**  **8**  **9**  **0** | 45,49,53,57,61,70,71,78 44,48,52,57,65,69,73,77  43,47,51,60,64,68,72,76 42,46,55,59,63,67,71,80  41,50,54,58,62,66,75,79 45,48,51,59,62,70,73,76  44,47,55,58,61,69,72,80 43,46,54,57,65,68,71,79  42,50,53,56,64,67,75,78  41,49,52,60,63,66,74,77 | 41,46,51,56,61,66,71,76 42,47,52,57,62,67,72,77  43,48,53,58,63,68,73,78  44,49,54,59,64,69,74,79  45,50,55,60,65,70,75,80  41,47,53,59,65,66,72,78  42,48,54,60,61,67,73,79  43,49,55,56,62,68,74,80  44,50,51,57,63,69,75,76  45,46,52,58,64,70,71,77 |

**Задачи контрольной работы № 2**

41.Определить изобарическую теплоемкость идеального газа, занимающего при температуре Т = 375К и давлении р = 0,65МПа объем V = 98,8 л и имеющего изохорическую теплоемкость сv = 514,3 Дж/К. Определить также молярные изохорическую и изобарическую теплоемкости этого газа.

42.Определить молярные изохорическую и изобарическую теплоемкости влажного воздуха при температуре 240С и относительной влажности φ = 93%. Считать газ двухкомпонентной смесью.

43.Теплоизолированный сосуд с азотом N2 движется со скоростью 86 м/с. Температура газа 00 С. Какова будет средняя энергия поступательного движения молекул газа, если сосуд остановить?

44.Найти скорость истечения из баллона кислорода с плотностью ρ через малое отверстие в вакуум. Коэффициент Пуассона γ.

45.В вертикальном цилиндре вместимостью V под невесомым поршнем находится ν молей идеального одноатомного газа. Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой М. Груз с поршнем переместился. Определить конечную температуру газа Тк , установившуюся после перемещения поршня, если его площадь S, а атмосферное давление р0.

46.Если температура на улице – 200С, то в комнате + 200С. Когда на улице – 400С, то в комнате + 100С. Найти температуру батареи, отапливающей комнату.

47.В цилиндре под поршнем находится ν = 0,5 моль воздуха при температуре 3000К. Во сколько раз увеличится объем газа при сообщении ему количества теплоты Q = 13,2 кДж. Процесс изобарический, сvμ =21,0 Дж\*моль-1\*К-1.

48.Конец капиллярной трубки опущен в воду. Какое количество теплоты Q выделится при подъеме жидкости по капилляру? Смачивание абсолютное.

49.Горизонтальный теплоизолированный сосуд разделен на две части не проводящим тепло поршнем, перемещающимся без трения. В левой части – 1 моль одноатомного идеального газа, в правой – вакуум. Поршень соединен с правой стенкой пружиной, длина которой l в свободном состоянии равна длине сосуда. Определить теплоемкость системы (теплоемкостью сосуда, поршня и пружины пренебречь).

50.Определить изохорическую и изобарическую теплоемкости двухатомного идеального газа с плотностью 1,43 кг\*м-3, находящегося при нормальных условиях.

51.В цилиндре под поршнем находится некоторая масса воздуха. На его нагревание при постоянном давлении затрачено 5 кДж тепла. Найти работу, произведенную при этом газом, ср = 103 Дж\*кг-1\*К-1.

52.Одной из причин понижения температуры газа в атмосфере с высотой является расширение воздуха в восходящих потоках без теплообмена с окружающей средой. Считая воздух идеальным газом, найти понижение температуры на каждые 100 м высоты.

53.Идеальная тепловая машина работает при температуре нагревателя Т1 = 780К, имея гелий в качестве рабочего газа. Определить работу, выполненную машиной за один цикл, температуру холодильника и массу газа, совершающего цикл, если в процессе адиабатического расширения при увеличении втрое объема газа им совершается работа А = 3 МДж. При этом в процессе изотермического расширения объем газа увеличивается в четыре раза.

54.Определить работу, затраченную на выдувание мыльного пузыря радиусом 6 см. Каково отличие давления внутри пузыря от атмосферного?

55.Вычислить приращение энтропии ΔS одного моля трехатомного идеального газа при нагревании от 00С до 5000С, если процесс происходит при постоянном давлении. Молекулы газа считать жесткими.

56.Найти КПД цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, предполагая, что рабочим веществом является идеальный газ. Максимальное давление вдвое больше минимального.

57.Найти КПД цикла Дизеля, если степень адиабатического сжатия α= V2/V1, степень изобарического расширения β = V3/V1 и степень адиабатического расширения ε = V2/V3. Коэффициент Пуассона равен γ.

58.Над молем идеального газа совершают замкнутый цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Температуры в точках 1 и 3 равны соответственно Т1 и Т3. Определить работу, совершенную газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

59.Азот массой 28 г адиабатно расширили в два раза, затем изобарно сжали до начального объема. Определите изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

60.При нагревании двухатомного идеального газа ( ν = 2 моль ) его абсолютная температура увеличилась в два раза. Определите изменение энтропии, если нагревание происходит: 1)изохорно; 2)изобарно.

61.Заряд q равномерно распределен на стержне длиной l = 28 см. Заряд q1 = 5\*10-8 Кл, находясь на оси стержня на расстоянии а= 15см от его конца, взаимодействует со стержнем с силой F = 8\*10-6 Н. Определить линейную плотность заряда на стержне.

62.Заряды q1 = 3 нКл и q2 = -5 нКл находятся на расстоянии r = 6 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал φ в точке, находящейся на расстоянии а=3 см от первого заряда и d = 4 см от второго заряда. Какой силой потребуется удержать в этой точке заряд q3 = 1 нКл ?

63.Длинный цилиндр радиусом R = 1,5 см несет равномерно распределенный по поверхности заряд. На расстоянии r =7 см от поверхности цилиндра находится точечный заряд q = 37 нКл, взаимодействующий с цилиндром с силой F = 600мкН. Определить поверхностную плотность заряда на цилиндре.

64.Вдоль оси **х** ориентирован проводник длиной l с начальной координатой х0  и линейной плотностью заряда τ. Определить φ(0).

65.Две металлические проводящие сферы с радиусами R1 < R2  и единым центром имеют заряды соответственно Ọ1  и Ọ2. Рассчитать поле ( **Е** и φ )в пространстве сфер.

66.Внутри шара радиуса r2, заряженного по объему равномерно с плотностью ρ, имеется эксцентрично расположенный шар радиуса r1 <r2, заряженный по объему отрицательным электричеством с такой же плотностью. Расстояние между центрами шаров равно **а** .Определить напряженность поля **Е** внутри малого шара.

67.Определить поле ( **Е** и φ ) равномерно заряженного кольца радиуса R и линейной плотностью заряда τ на оси кольца.

68.Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии d = 1 см друг от друга, приложено напряжение U=300 В.В пространство между пластинами помещается плоскопараллельная стеклянная пластинка ( d1 = 0,5 см; ε1 = 6 ) и плоскопараллельная парафиновая пластинка ( d2 = 0,5 см; ε2 = 2 ). Найти : 1) напряженность поля в каждом слое;2)падение потенциала в каждом слое;3)емкость конденсатора, если площадь пластин S = 100 см2;4)поверхностную плотность зарядов на пластинах.

69.В плоский конденсатор С = 6\*10-10 Ф с толщиной воздушного зазора d вставили медную пластинку в четверть толщины зазора. Как изменится емкость конденсатора? Будет ли влиять на результат положение пластин?

70.Расстояние между пластинами плоского конденсатора d. В пространство между пластинами вносят металлическую пластинку толщиной δ, поверхность которой параллельна обкладкам, потенциал одной из них равен φ1 , другой – φ2 . Найти потенциал φ металлической пластины.

71.К пластинам плоского конденсатора ( d = 3 см ) приложено напряжение U = 1 кВ. Пространство между пластинами заполняется диэлектриком (ε = 7). Найти: 1) поверхностную плотность связанных зарядов; 2) плотность зарядов на пластинах. Задачу решить: а) заполнение диэлектриком производится при включенном источнике напряжения; б) заполнение производится после выключения источника.

72.На расстоянии h от проводящей бесконечной плоскости находится точечный заряд +q. Определить напряженность поля в точке А, отстоящей от плоскости и от заряда на расстоянии h.

73.Металлический шар радиуса R соединен очень тонкой проволокой с Землей. На расстоянии d = 2R от центра шара находится электрический заряд q .Чему равен отрицательный заряд Q шара? Поверхность Земли и все остальные предметы можно считать достаточно удаленными, влиянием проволоки можно пренебречь.

74.Показать, что увеличение диэлектрической проницаемости среды ведет к уменьшению полной энергии электрического поля.

75.Найти энергию, накопленную в сферическом двухслойном конденсаторе с зарядом q на внутреннем электроде, радиус которого r1, радиус внешнего электрода r2. Радиус сферы, разделяющей межэлектродное пространство на слои, равен в, диэлектрическая проницаемость первого слоя равна ε1, второго – ε2.

76.Конденсатор емкостью С заряжен до разности потенциалов V0 и разряжается через резистор сопротивлением R. Найти, как меняется со временем энергия конденсатора? Выразить эту зависимость аналитически и графически.

77.Внутри плоского конденсатора (S = 200 см2, d = 0,1 см) имеется стеклянная пластина. Как изменится энергия конденсатора, если удалить стеклянную пластину? Рассмотреть два случая: 1) конденсатор включен к источнику с напряжением U = 300 в; 2) пластина вынимается из заряженного до U = 300 В конденсатора, отключенного от источника. Чему равна механическая работа по удалению пластины в обоих случаях?

78.Электрон, обладающий кинетической энергией 10 эВ, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью Е = 10 В/м в направлении поля и пролетел в нем расстояние r = 50 см. Определить скорость электрона в конце указанного пути.

79.Конденсатор емкостью С1 = 4 мкФ был заряжен до напряжения U1=40В. После отключения от источника тока конденсатор соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью С2=6 мкФ. Какая энергия W израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

80.На большом расстоянии от проволочного кольца радиуса R с зарядом Q находится на оси частица массой m и с зарядом –q. В начальный момент времени t = 0 скорость частицы V(0) = 0. Чему равна скорость частицы в центре кольца?

**Часть 4.**

РАЗДЕЛ 3

МАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. НАЧАЛА КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

**ПРОГРАММА**

**5. МАГНЕТИЗМ**

**5.1. Магнитное поле**

Сила Лоренца и сила Ампера. Вектор магнитной индукции. Основные уравнения магнитостатики в вакууме. Магнитное поле простейших систем. Определение единицы силы тока — ампера. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.

Виток с током в магнитном поле. Потенциальная энергия витка с током во внешнем магнитном поле. Рамка с током в однородном магнитном поле. Момент сил, действующий на рамку с током. Электромагнитный момент.

Магнитное поле тока. Закон Био—Савара—Лапласа. Принцип суперпозиции. Магнитное поле прямого и кругового токов. Закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для магнитного поля в вакууме и его применение к расчету магнитного поля тороида и длинного соленоида.

Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность длинного соленоида. Явление взаимной индукции. Коэффициент взаимной индукции. Магнитная энергия тока. Плотность магнитной энергии. Энергия и силы.

Магнитное поле в веществе. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, ферриты. Длинный соленоид с магнетиком. Молекулярные токи. Намагниченность. Напряженность магнитного поля. Основные уравнения магнитостатики в веществе. Граничные условия. Технические приложения законов магнитостатики.

**5.2. Уравнения Максвелла**

Фарадеевская и максвелловская трактовки явления электромагнитной индукции. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Векторный и скалярный потенциалы поля. Скорость распространения электромагнитных возмущений. Волновое уравнение. Плотность энергии. Плотность потока энергии.

Принцип относительности в электродинамике. Постулаты специальной теории относительности. Преобразование Лоренца. Следствия из преобразования Лоренца: сокращение движущихся масштабов длины, замедление движущихся часов, закон сложения скоростей. Инвариантность уравнений Максвелла относительно преобразования Лоренца. Релятивистское преобразование полей, зарядов и токов. Относительность магнитных и электрических полей. Сущность специальной теории относительности.

**6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ**

**6.1. Плоские электромагнитные волны**

Плоские электромагнитные волны. Поляризация волн. Энергетические соотношения. Вектор Умова—Пойнтинга. Излучение диполя.

Сферические и цилиндрические волны. Суперпозиция двух сферических волн.

**6.2. Дифракция волн**

Принцип Гюйгенса—Френеля. Приближение Френеля. Интеграл и дифракция Френеля. Приближение Фраунгофера. Число Френеля. Простые задачи дифракции: дифракция на одной и на многих щелях. Дифракционная решетка. Дифракция на круглом отверстии. Дифракция рентгеновских лучей.

**6.3. Интерферометрия**

Интерференция монохроматических волн. Квазимонохроматические волны. Функция когерентности. Интерференция квазимонохроматических волн. Интерферометры. Примеры: ин­терференционный микроскоп, интерферометр Майкельсона.

**6.4. Электромагнитные волны в веществе**

Распространение света в веществе. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Поглощение света. Прозрачные среды. Поляризация волн при отражении. Поляризация волн при двойном лучепреломлении. Поляроиды. Оптически активные вещества.

**6.5. Начала квантовой физики**

Противоречия классической физики. Проблемы излучения черного тела, фотоэлектрического эффекта, стабильности и размера атома. Равновесное тепловое излучение. Гипотеза Планка о квантовом характере излучения. Энергия и импульс световых квантов. Фотоэлектрический эффект. Давление света.

**Указания к решению задач**

**Магнетизм**

*Магнитное поле—*это особая материальная среда, через которую взаимодействуют движущиеся электрические заряды (электрические токи).

Характеристикой магнитного поля является *магнитная индукция.*

Графически магнитное поле изображается с помощью *магнитных силовых линий.* Силовые линии проводятся так, что вектор магнитной индукции  а любой точке поля направлен по касательной к магнитной силовой линии, проходящей через данную точку.

1. На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует со стороны поля сила (сила Ампера).

В случае однородного поля и прямолинейного проводника сила



или

**F==BIl sin a,**

где *I*—сила тока в проводнике;

*l* — длина проводника;

α—угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции *В.*

Если же проводник криволинеен (рис. 15) или магнитное поле неоднородно, то закон Ампера применяют к каждому элементу *dl* проводника:



или

*dF=BIdl sin α .*

Направление вектора  совпадает с направлением тока в элементе *dl.*

Из закона Ампера следует, что магнитная индукция численно равна силе, с которой однородное магнитное поле действует на перпендикулярный полю проводник длиной 1 м при токе 1 А.

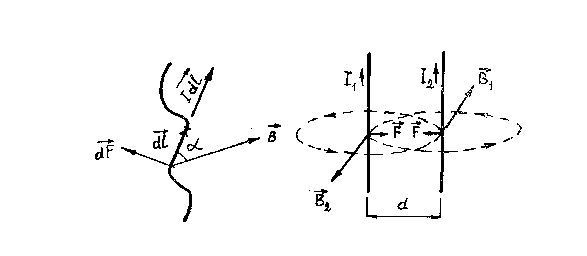


Рис. 15 Рис. 16

2. Магнитная индукция  связана с *напряженностью магнитного поля* *Н*:

,

где —магнитная постоянная;

*μ*—относительная магнитная проницаемость среды, в .которой создается магнитное поле.

3. Два бесконечных прямых параллельных проводника с токами *I1* и *I2* взаимодействуют с силой:

,

где *d—*(расстояние между проводниками (рис. 16);

*l*—длина участка проводника, на который действует сила *F.*

*4.* На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила *(сила Лоренца)*

 или ,

*где* q *– заряд частицы ;*

v- *ее скорость ;*

B *– индукция магнитного поля*

5. Согласно *закону Био-Савара-Лапласа* магнитная индукция  поля, создаваемого элементом проводника длиной *dl* с током *I*, вычисляется по формуле



или в скалярной форме

,

где — магнитная постоянная;

—относительная магнитная проницаемость среды, в которой создается магнитное поле;

*r* — радиус-вектор, проведенный от элемента проводника к точке А, в которой определяется магнитная индукция (рис. 17);

*α* — угол между радиус-вектором  и направлением тока в элементе проводника  (элементом тока ).

Направление магнитной силовой линии поля, создаваемо­го прямым элементом тока  ib точке *А*, можно определить по правилу буравчика (правилу правого винта).

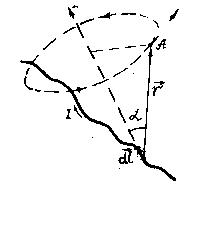


Рис. 17

Вектор магнитной индукции  направлен по касательной к этой силовой линии в точке А.

Согласно *принципу суперпозиции* индукцию В магнитного поля, созданного в точке А всем проводником, можно определить как векторную (геометрическую) сумму магнитных индукций  полей, созданных каждым из элементов тока , на которые разбит проводник

.

**Пример 3.3.** По прямолинейному проводнику длиной *l=1,0 м* течет ток силой *1=20* А. Определить магнитную индукцию в точке,(находящей сна расстоянии *b = 10 см* от провод­ника и лежащую на перпендикуляре, проведенном через один из концов проводника.

**Решение.** Мысленно разобьем проводник на элементарные отрезки *dl.* Магнитную индукцию  поля, создаваемого элементом тока  в точке *А,* определяемой радиус-век­тором , выразим по закону Био-Савара-Лапласа:

 . (1)

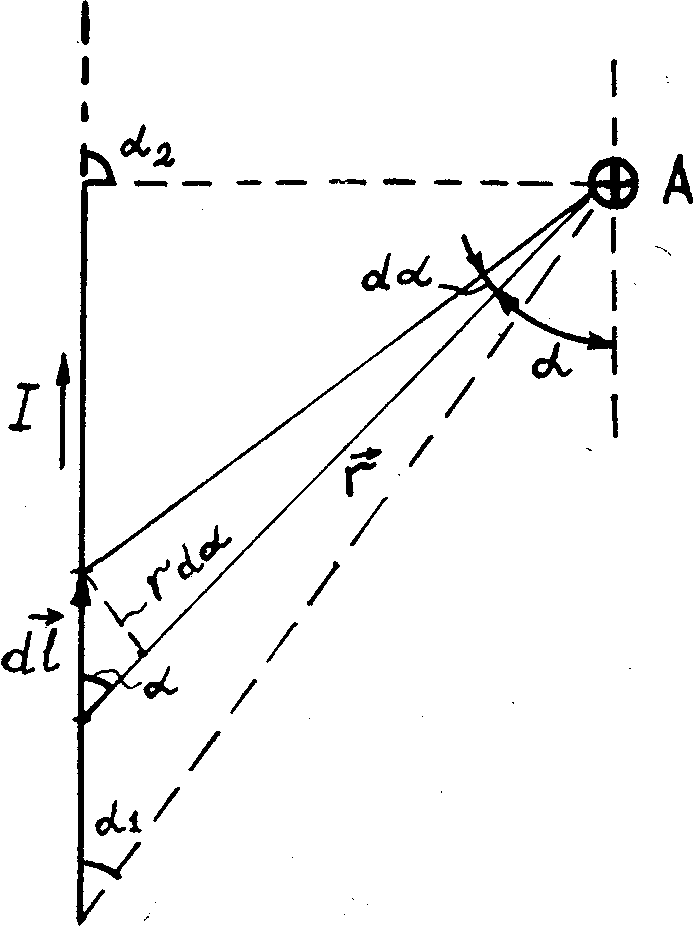
Магнитная постоянная *μ0=4π\*10-7 Гн/м*, относительная магнитная проницаемость среды, в которой находится проводник,. *μ=*1,0 (для вакуума).

Вектор  в точке А для выбранного на рис. 18 направления тока направлен за плоскость чертежа (от нас).

Магнитную индукцию  созданную всем проводником, определим согласно принципу суперпозиции векторным суммированием магнитных индукций  от всех элементарных, отрезков  проводника

,

где *i* — номер элементарного отрезка  проводника.



# Рис. 18

В случае прямолинейного проводника векторы магнитных индукций  полей, созданных всеми элементами тока  в данной точке, имеют одинаковое направление. Поэтому для определения величины магнитной индукции *В* суммирование векторов  можно заменить суммированием модулей этих векторов, т. е.

*,*

*,* (3)

(здесь *α* — угол между элементом тока  и радиусом -вектором ).

В выражении (3) две переменные величины: α и . Преобразуем это выражение так, чтобы осталась одна переменная — угол . Для этого выразим длину элемента  через угол  и длину радиус-вектора  через угол *а:*

*.*

Тогда

,

где *b —* расстояние от проводника до точки *А,* в которой определяется магнитная индукция.

С учетом этого выражение для *dB* можно переписать в виде



Индукция же магнитного поля, созданного в точке A всем проводником,

,

Таким образом, магнитная индукция поля, созданного прямым проводником конечной длины

,

где *α1* и *α2* — углы между направлением тока в проводнике и радиусами-векторами, проведенными от концов проводника к точке А, в которой определяется индукция.

В задаче



.

Поэтому

.

Выпишем числовые значения величин в СИ:



Произведем анализ единиц измерения:



Подставим числовые значения величин в расчетную формулу и произведем вычисления:



8. В случае бесконечно длинного прямого проводника с током



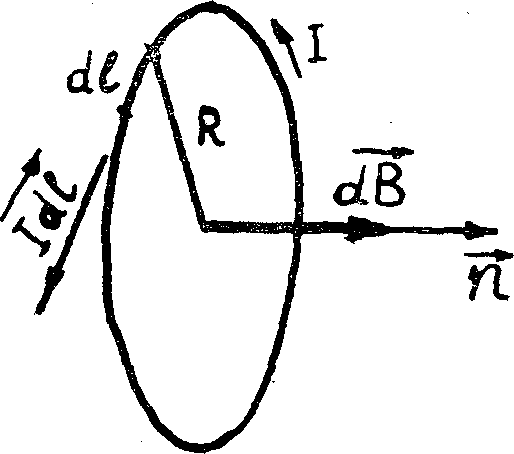
Если магнитное поле создается несколькими проводниками, то суммарную индукцию магнитного поля в некоторой точке можно найти как векторную сумму индукций  созда­ваемых каждым проводником в отдельности:

,

где *i* — номер проводника;

*п —* количество проводников.

9. Применив закон Био-Савара-Лапласа к расчету *магнитной индукции в центре кругового витка* (рис. 19), получим формулу

,

где *R—*радиус витка;

*—* единичный вектор положительной нормали кплоскости витка.

10. По закону полного тока циркуляция вектора магнитной индукции по замкнутому контуру пропорциональна алгебраической сумме сил токов, охватываемых контуром:

 Рис. 19

Основываясь на этом законе, можно вывести формулу для расчета магнитной индукции поля *соленоида (тороида):*

,

где *п* — число витков, содержащихся в единице длины соленоида (отношение числа витков соленоида к его длине).

11. *Магнитный поток—*это число магнитных силовых линий, пронизывающих поверхность, ограниченную контуром.

В случае однородного магнитного поля и плоской поверхности магнитный поток

,

где S—площадь поверхности, охватываемой контуром;

*ϕ*—угол между нормалью к поверхности контура и вектором магнитной индукции ;

*Bn—*проекция вектора магнитной индукции на нормаль к контуру.

В случае неоднородного поля или произвольной поверхности поверхность, охватываемую контуром, разбивают на элементарные участки *dS, в* пределах которых *Bn* остается по­стоянной, а магнитный поток, пронизывающий эту поверхность, определяется интегрированием по всей поверхности

.

Для соленоида и тороида, содержащих *N* витков, полный магнитный моток *(потокосцепление)*

ψ=*NФ.*

*12.* Работа по перемещению замкнутого контура с токам в магнитном поле

*A=IΔФ,*

где *I* — сила тока в контуре;

*ΔФ=Ф2-Ф1* —изменение магнитного потока;

*Ф1 и Ф2*—величины магнитных потоков, пронизывающих контур при его начальном и конечном положениях.

**Пример 3.6.** Решить задачу, приведенную в примере 3.2, другим способом.

**Решение**. Как отмечалось в примере 3.2 работа совершаемая при повороте контура силами, действующими со стороны магнитного поля,

*А=П1-П2.*

*С* другой стороны,

*А=IΔФ=I(Ф2-Ф1)=IФ2.-IФ1 = - IФ1 –(-IФ2).*

## Из сопоставления этих двух формул можно заключить, что

П=-IФ

Но магнитный поток, пронизывающий плоский контур в однородном магнитном поле,

.

Поэтому

*П = -IBS cos ϕ.*

Вычисления приведены в примере 3.2.

13. При изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в последнем индуцируется электродвижущая сила *(ЭДС индукции),* величина которой пропорциональна скорости изменения магнитного потока



Для катушки из *N* витков

****

При движении прямолинейного проводника в однородном магнитном поле на его концах возникает разность потенциа­лов



где *l* — длина проводника,

14. Магнитный поток *Ф*, связанный с контуром при протекании по нему электрического тока *I,*

**,**

где *L* — индуктивность контура.

В случае соленоида (тороида) потокосцепление

,

где *L —* индуктивность соленоида (тороида).

Индуктивность соленоида (тороида)



где *п —* отношение числа витков соленоида *N к* его длине *I;*

*V—*объем соленоида (тороида).

При изменении тока магнитный поток, связанный с контуром, изменяется и индуцирует в контуре ЭДС *(ЭДС самоиндукции)*



где — ЭДС самоиндукции;

*dl/dt —* скорость изменения силы тока во времени (при равномерном изменении силы тока , где  — изменение силы тока за промежуток времени  *—* величина тока в начале и в конце промежутка времени ).

При замыкании цепи, содержащей активное сопротивление *R* и индуктивность *L,* индукционный ток направлен против тока, создаваемого источником и замедляет его возрастание. Мгновенное значение тока в цепи в этом случае

,

где - ЭДС источника тока;

*t —* время, прошедшее после замыкания цепи;

*е —* основание натурального логарифма.

При размыкании такой цепи индукционный ток совпадает по направлению с током, создаваемым источником до размыкания цепи, и поддерживает в течение некоторого времени ток в цепи. Мгновенное значение тока при размыкании цепи

,

где *—сила* тока перед размыканием цепи (при *t=*0);

*t —* время, прошедшее с момента размыкания цепи.

**Пример 3.8.** Цепь, содержащая активное сопротивление-*R== 20 Ом* и индуктивность *L=10* *мГн*, подключена к источнику ЭДС. Определить время, в течение которого сила тока уменьшится в *е* раз при размыкании цепи *(е —* основание натурального логарифма).

**Решение.** При размыкании цепи, содержащей активное сопротивление *R,* индуктивность *L* и источник с ЭДС  сила тока изменяется по экспоненциальному закону

 , (1)

где  - установившийся ток в цепи до ее размыкания.

Из формулы (1)

 (2)

Для того чтобы выделить время, надо выражение (2) прологарифмировать

,

отсюда

**-**

Так как по условию 

Промежуток времени, в течение которого сила тока уменьшается в е раз, называется временем релаксации и обозначается буквой  — «тау», т. е.

**.**

Выпишем числовые значения величин в СИ, произведем проверку единиц измерения и вычисления.

*L= 10 мГн= 0,010 Гн; R=20 Ом.*



.

15. *Энергия магнитного поля* соленоида

******

*Объемная плотность энергии* магнитного поля (отношение энергии магнитного поля соленоида к его объему)

,

где *В —* магнитная индукция;

*Н —* напряженность магнитного поля.

**Электромагнитные волны. Начала квантовой физики**

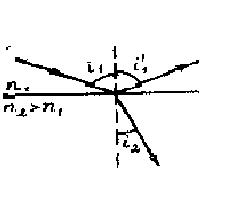
1. При падении луча света на границу раздела двух сред с разной оптической плотностью луч частично отражается, частично преломляется. Угол падения  (угол между падающим лучом и нормалью к границе раздела двух сред в точке падения луча), угол отражения  (угол между отраженным лучом и той же нормалью) и угол преломления (угол между нормалью в точке падения и преломленным лучом) связаны между собой следующими соотношениями: а) угол падения равен углу отражения  (рис. 20);

Рис.20

б) отношение синуса угла падения к синусу угла прелом­ления есть величина постоянная и равная относительному показателю преломления  второй среды относительно первой:

,

но ,

где  *—* абсолютные показатели преломления первой и второй сред, на границе раздела которых происходит отражение и преломление света.

Абсолютный показатель преломления *п* показывает, во сколько раз скорость распространения света  в вакууме больше скорости распространения света с в среде:

.

При переходе луча света из среды оптически более плотной (с показателем преломления *)* в среду оптически менее плотную (с показателем преломления ) угол падения меньше угла преломления (рис. 31). При постепенном увеличении угла падения начиная с

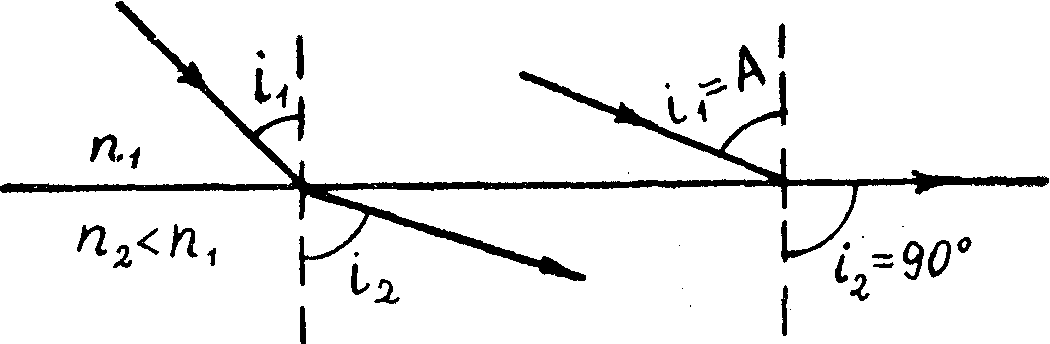


Рис. 21

некоторого угла *,* называемого предельным, наблюдается полное внутреннее отраже­ние. Предельный угол *А* вычисляется из формулы



откуда



2. Оптическая длина пути световой волны

*L=nl,*

где *l* — геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления *п.*

3. При наложении двух когерентных волн они *интерферируют,* т. е. происходит их сложение, в результате которого в пространстве перераспределяется энергия колебаний с образованием устойчивых областей усиленных и ослабленных колебаний.

Результат интерференции зависит от разности фаз  налагающихся волн

,

где — оптическая разность хода волн;

* —* длина световой волны в вакууме.

Оптическая разность хода световых волн:

*,*

где — оптические длины пути волн.

Максимальное усиление света при интерференции наблюдается при условии, если

.

Это происходит, если оптическая разность хода волн

.

Максимальное ослабление света происходит при

*,*

т. е. при  .

**Пример 3.9.** На каком расстоянии *d* находятся два когерентных источника света, излучающих монохроматический свет (), если на экране, находящемся на расстоянии *L=3,5 м* от источников, наблюдаются полосы интерференции, расстояние между которыми ?

**Решение.** Световые (электромагнитные) волны от двух когерентных источников распространяются в пространстве независимо друг от друга. Накладываясь друг на друга, эти волны интерферируют (складываются). На экране, находящемся на пути этих волн, наблюдается чередование минимумов и максимумов освещенности.

Результат интерференции световых волн, сходящихся в точке *Р* (см. рис. 22), зависит от разности хода лучей:

*,*

где *п —* показатель преломления той среды, в которой распространяется световая волна.

Если в разности хода  укладывается целое число длин волн (четное число полуволн), т. е. если

 , (1)

то в точке *Р* будет максимум освещенности (здесь  *—* длина световой волны в вакууме; 0; 1; 2; 3; ...—порядок максимума).

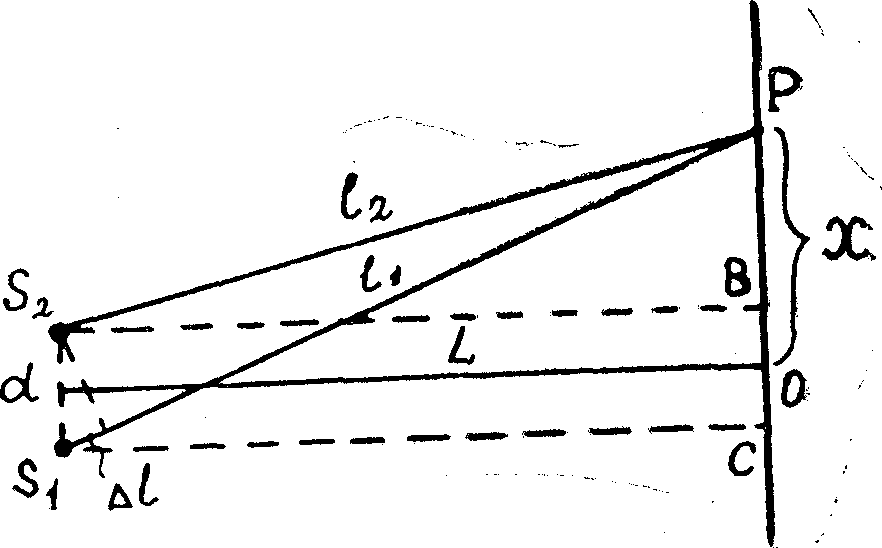


Рис. 22

Если же в разности хода укладывается нечётное число полуволн, т. е. если

 , (2)

то в точке *Р* будет минимум освещенности (темнота).

Определим расстояние *х* от точки *О* (одинаково удаленной от ) до тех точек *Р*, в которых будут наблюдаться интерференционные полосы. Из прямоугольных треугольников *PCS1* и *PBS2*  имеем:

,

откуда *,*

или  *.*

но ******

(в случае, если *d* и *х* много меньше *L*), следовательно,



и  , (3)

где *L —* расстояние от когерентных источников света до экрана;

*d—*расстояние между источниками света.

Если учесть условия (1) и (2), то выражение (3) примет вид:

— для максимумов:  (4)

*—* для минимумов:  , (5)

где  *—* длина волны света в данной среде.

Центральный максимум, соответствующий *k=0,* проходит через точку 0. *k-й* максимум находится на расстоянии

**

а следующий (*k+1*-й) максимум находится на расстоянии

**** от точки 0**.**

Расстояние между соседними максимумами

 .

Таким же образом можно показать, что и соседние минимумы находятся на расстоянии

 . (6)

Из выражения (6) получаем:

*** . (7)***

Выпишем числовые значения величин в СИ и произведем вычисления:



.

.*Дифракция света —* это отклонения от законов геометрической оптики, наблюдаемые при резких неоднородностях среды, размеры которых соизмеримы с длиной волны света. Проходя через отверстия и щели малых размеров или вблизи мелких предметов, капелек воды в воздухе при тумане и других неоднородностей среды световые (электромагнитные) волны отклоняются от прямолинейного распространения с последующим перераспределением энергии колебаний в пространстве. При дифракции параллельного пучка лучей света, падающего нормально на узкую щель, максимумы интенсивности света наблюдаются в направлениях, удовлетворяющих условию:

******

(так как в этом случае открытая часть волновой поверхности в плоскости щели разбивается на нечетное число зон Френеля).

Минимумы интенсивности наблюдаются в направлениях, удовлетворяющих условию



(волновая поверхность разбивается на четное число зон Френеля).

Здесь *а —* ширина щели;  — угол дифракции (угол отклонения лучей от прямолинейного направления);  *—* длина световой волны; *k —* порядок (номер) максимума или мини­мума (*k*=1, 2, 3 . . .).

При дифракции плоской волны, падающей нормально на дифракционную решетку (совокупность большого числа щелей), главные максимумы света наблюдаются в направлениях, составляющих с нормалью к решетке угол , удовлетворяющий следующему условию



(условие образования главных максимумов),

где *d —* постоянная или период решетки — расстояние между соответствующими точками двух соседних щелей;

— угол дифракции (угол между нормалью к поверхности дифракционной решетки и направлением дифрогированных лучей);

*k—*порядковый номер дифракционного максимума (*k=*0, 1, 2 . ..; наибольшее значение *k* при =90°).

Дифракция волн наблюдается, если размеры неоднородностей среды соизмеримы с длиной волны.

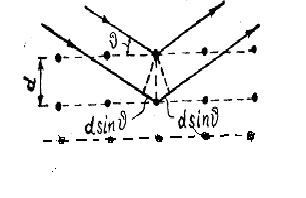


Рис. 23

Для наблюдения дифракции рентгеновских лучей дифракционной решеткой может служить кристаллическая решетка твердых тел.

При отражении параллельных монохроматических рентгеновских лучей от кристаллических плоскостей максимумы интенсивности (дифракционные максимумы) наблюдаются в тех направлениях, в которых все отраженные волны будут находиться в фазах, отличающихся друг от друга на 2  *(k=*1, 2, 3 . . .). Эти направления можно определить по формуле Вульфа-Брэггов:

,

где *d—* .расстояния между атомными плоскостями в кристалле (рис. 34);

—угол скольжения лучей;

*k —* порядок дифракционного максимума;

 длина волны рентгеновского излучения;

—разность хода волн, отраженных от двух соседних

кристаллических плоскостей.

**Пример 3.11.** На дифракционную решетку, имеющую *N*=50 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет длиной волны =0,65 мкм. На каком расстоянии *l* от центрального находится первый максимум, если экран расположен на расстоянии *L*=80 см от решетки?

**Решение.** Для дифракционной решетки справедливо следующее соотношение

. (1)

#### Так как для максимума 1-го порядка угол мал, можно принять

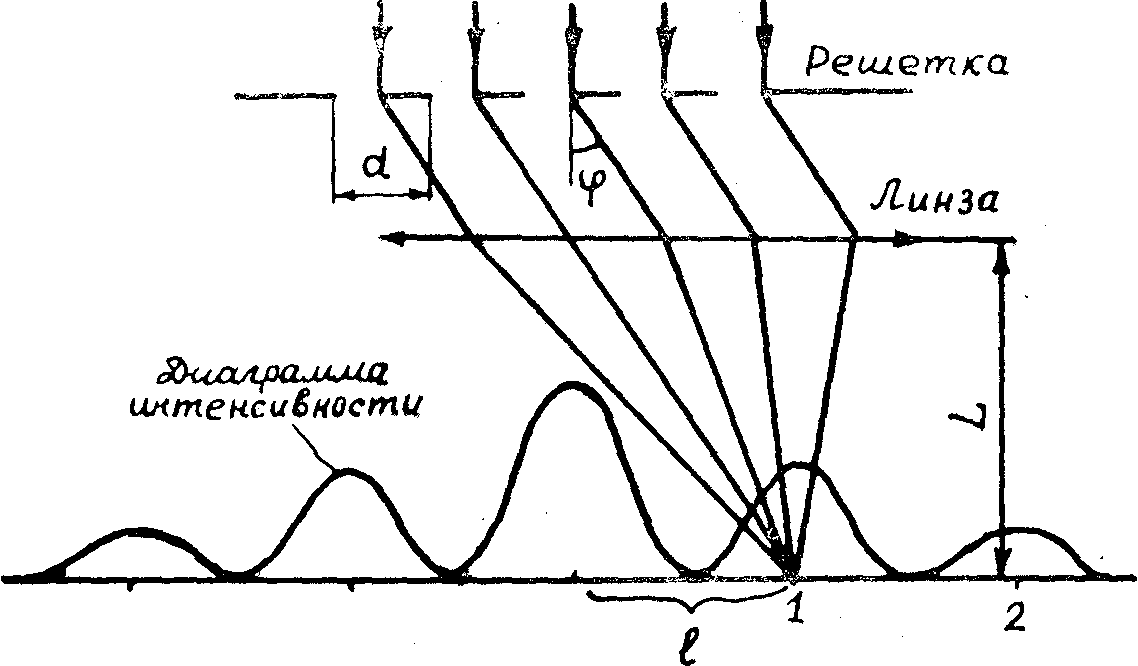
,

тогда

*** , (2)***

где *l—* расстояние, на котором находится максимум *k-то* порядка от центрального (рис.24);

L — расстояние от дифракционной решетки до экрана.



##### Рис. 24

Из выражения (2) получим

.

Постоянную решетки находим из равенства

****** (4)

Подставив (4) в (3), получим

*.* (5)

Выпишем числовые значения величины в СИ:

******

Произведем анализ единиц измерения

.

Произведем вычисления

 *см.*

5. *Поляризация света.* Электромагнитные волны с длиной волны от 400 до 780 нм воспринимаются человеческим глазом как свет.

В *естественном свете* колебания векторов напряженности электрического и магнитного полей совершаются в самых различных направлениях, перпендикулярных к световому лучу. Свет, в котором направление колебаний каким-либо образом упорядочены, называется *поляризованным. Степень поляризации*



где — максимальная и минимальная интенсивности света в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для естественного света .

Если колебания вектора напряженности  электрического поля в любой точке вдоль светового луча совершаются только в одной плоскости (), свет называется *плоскополяризованным.*

Для преобразования естественного света в поляризованный применяют специальные приборы — поляризаторы. Поляризованный свет получается также и при отражении есте­ственного света от границы раздела двух диэлектриков. Степень поляризации отраженного света зависит от угла падения луча. Согласно закону Брюстера, отраженный свет макси­мально поляризован, если

,

где  —угол Брюстера (угол падения луча, при котором отраженный свет максимально поляризован);

**- относительный показатель преломления второй среды относительно первой ( — абсолютные показатели преломления веществ, на границе которых происходит отражение света).

При этом преломленный луч перпендикулярен отраженному, и угол падения и угол преломления в сумме равны 90° (рис. 25).

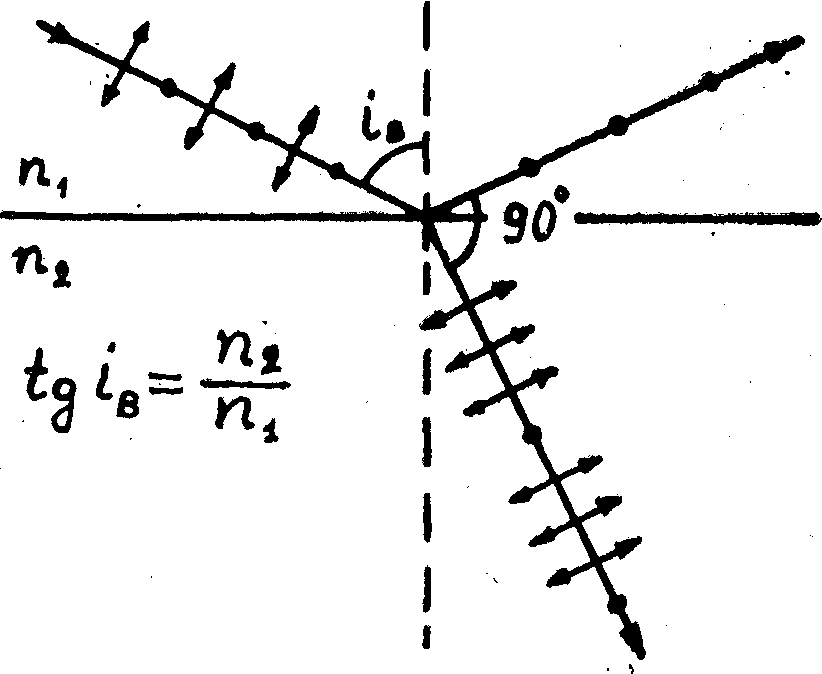


Рис. 25

Наличие поляризации света можно определить с помощью другого поляризатора (анализатора). Интенсивность плоско поляризованного света, прошедшего через анализатор, определяется по закону Малюса:

,

где  — интенсивности света, падающего на поляризатор и вышедшего из него;

 — угол между плоскостью колебаний света, падающего на анализатор, и оптической плоскостью анализатора (плоскостью, в которой анализатор пропускает колебания без ослабления).

Некоторые вещества (кварц, сахар, винная кислота, скипидар, водный раствор сахара), обладающие способностью вращать плоскость поляризации, называются *оптически активными.* Угол поворота плоскости поляризации оптически активными кристаллами и чистыми жидкостями

*,*

оптически активными растворами

,

где *d —* расстояние, которое проходит свет в оптически активном веществе;

—удельное вращение оптически активного кристалла и чистой жидкости;

 — удельное вращение раствора оптически активного вещества;

*С—*концентрация оптически активного вещества в растворе.

7. Гипотеза Планка получила подтверждение и дальнейшее развитие при изучении явления *фотоэффекта.*

Различают следующие виды фотоэффекта:

1) внешний фотоэффект — явление испускания электронов с поверхности вещества под действием электромагнитного излучения (света);

2) внутренний фотоэффект — явление перехода электронов внутри вещества из связанных состояний в свободные под действием электромагнитного излучения (электроны отрываются от атомов). Вылета электронов с поверхности вещества при этом не наблюдается;

3) вентильный фотоэффект — возникновение ЭДС при освещении границы (контакта) двух различных полупроводников или полупроводника и проводника (металла).

Явление фотоэффекта можно объяснить на основе созданной Эйнштейном квантовой теории фотоэффекта, согласно которой свет распространяется в пространстве и поглощается веществом отдельными порциями (квантами) с энергией .

Кванты электромагнитного излучения обладают свойствами частиц. Эти световые частицы называют фотонами. По Эйнштейну, один электрон может поглотить только один фотон. Энергия фотона , падающего на поверхность вещества, расходуется на совершение работы выхода  электрона из металла и на сообщение вылетевшему фотоэлектрону кинетической энергии , т. е.

уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта, где *т ~* масса электрона,  — максимальная скорость фотоэлектронов.

Частота света  (или соответствующая ей длина волны ), при которой вся энергия поглощенного фотона идет на совершение электроном работы выхода из металла, называется «красной границей» фотоэффекта:

.

Она зависит только от работы выхода, т. е. от химического состава вещества и состояния его поверхности.

В случае, если частота электромагнитного излучения , внешний фотоэффект не наблюдается.

**Пример 3.13.** На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны =400 *нм*. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов *,* которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок. Красная граница фотоэффекта для лития  =540 *нм.*

**Решение**. Согласно уравнению Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

 *(*1)

Работа выхода  электрона из металла равна энергии фотона, соответствующей красной границе фотоэффекта:

***.***

С учетом этого формула (1) примет вид:

*.*

Отсюда максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов

 . (2)

Если изменить полярность электродов фотоэлемента, то электрическое поле внутри фотоэлемента будет тормозить вылетевшие из катода фотоэлектроны. Фототок прекратится в том случае, если работа электрического поля три перемещении электронов в нем будет равна максимальной кинетической энергии фотоэлектронов (согласно закону сохранения и превращения энергии), т. е.

**** (3)

Работа задерживающего электрического поля

 , (4)

где *е —* заряд электрона;

* —* минимальное значение задерживающей разности потенциалов, при которой прекращается фототок.

С учетом выражений (2) и (4) равенство (3) примет вид: 

# Отсюда

 . (5)

Выпишем численные значения величин в СИ:

;

Произведем анализ единиц измерения:



Подставим числовые значения величин в формулу (5) и произведем вычисления:



8. При движении в средах со скоростью света фотон обладает массой и импульсом. В соответствии с законом пропорциональности массы и энергии масса фотона

.

Импульс фотона .

При соударении с поверхностью фотон передает ей свой импульс, оказывая на нее *световое давление.* При нормальном падении света на поверхность световое давление определяют по формуле



где *р —* давление света на поверхность;

*Е —* энергия излучения, падающего на поверхность *S* за время *t;*

* —* энергетическая освещенность поверхности, т. е. энергия излучения, падающего на 1 м2 поверхности за 1 с;

— объемная плотность энергии излучения, т. е. энергия излучения в единице объема пространства;

*c* — скорость света в вакууме;

—коэффициент отражения света от поверхности (—отраженная поверхностью энергия).

В случае зеркальной поверхности , для зачерненной поверхности .

**Пример 3.14.** Давление света с длиной волны *=400 нм,* падающего на черную поверхность, *р=2 нПа*. Определить число фотонов *N,* падающих за время *t=10 с* на площадь *S=1 мм2* этой поверхности.

**Решение.** Световое давление

** .** (1)

Энергия света, падающего на поверхность *S* за время *t,*

 , (2) .

где *N —* число фотонов, падающих на данную поверхность за время *t;*

— энергия фотона;

*h —* постоянная Планка;

*с —* скорость света в вакууме;

* —* длина световой волны.

С учетом выражения (2) формула (1) примет вид:

******

Отсюда

**.** (3)

Выпишем числовые значения величин в СИ:



Выполним проверку единиц измерения:

***-*** безразмерная величина

Подставим числовые значения величин в формулу (3) и произведем вычисления:



**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3**

Номеразадач, составляющих контрольную работу, выбираются курсантом в таблице вариантов в зависимости от двух последних цифр шифра курсанта. Тексты условий задач приведены ниже.

Таблица вариантов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Последняя  цифра  шифра | Предпоследняя цифра шифра | |
| Нечетная | Четная |
| Номера задач | |
| **1**  **2**  **3**  **4**  **5**  **6**  **7**  **8**  **9**  **0** | 85,89,93,97,101,110,114,118 84,88,92,96,105,109,113,117  83,87,91,100,104,108,112,116  82,86,95,99,103,107,111,120 81,90,94,98,102,106,115,119  85,88,91,99,102,110,113,116 84,87,91,98,101,109,112,120  83,86,94,97,105,108,111,119 82,90,93,96,104,107,115,118  81,89,92,100,103,106,114,117 | 81,86,91,96,101,106,111,116 82,87,92,97,102,107,112,117 83,88,93,98,103,108,113,118  84,89,94,99,104,109,114,119  85,90,96,100,105,110,115,120  81,87,93,99,105,106,112,118  82,88,94,100,104,107,113,119  83,89,95,96,102,108,114,120  84,90,91,97,103,109,115,116  85,86,92,98,104,110,111,117 |

**Задачи контрольной работы №3**

81.Аккумулятор с внутренним сопротивлением 0,08 Ом при токе *I1=4А* отдает во внешнюю цепь мощность *N1=8Вт*. Какую мощность N2 он отдаст во внешнюю цепь при токе *I2=6А* ?

82.Параллельно резистору с известным сопротивлением *R*, подключенном к батарее, включают резистор с неизвестным сопротивлением *Rх*. Оказалось, что мощность не изменилась. Определить *Rх*, если внутреннее сопротивление источника тока *r.*

83.Какая относительная ошибка допускается при подключении вольтметра с сопротивлением *RV* к резистору с сопротивлением *R* для измерения напряжения на нем?

84.Какая относительная ошибка допускается при подключении амперметра с сопротивлением *RА* в участок цепи с сопротивлением *R* для измерения силы тока?

85.В схеме моста Уитстона (см. учебник, практикум по лабораторным работам, справочники) резистор *R* – эталонное сопротивление, *RХ* – алюминиевая проволока. При погружении ее в тающий лед длины проволок реохорда *l1= l2*, ток гальванометра *IГ =* 0; при погружении проволоки алюминия в кипящую воду ток гальванометра равен нулю, если длина проволок реохорда *l1* = 58 см, *l2* = 42 см. Определить температурный коэффициент сопротивления алюминия *α*.

86.На концах железного провода длиной *l* с диаметром *d*, включенного в цепь, напряжение возрастало за *τ* секунд со значения *U*1 до значения *U2*. Определить заряд *q* ,прошедший через провод.

87.По железному проводнику диаметром *d* = 0,6 мм течет ток силой *I* =16А. Определить среднюю скорость направленного движения электронов, считая, что число свободных электронов n0 в единице объема равно числу атомов в единице объема проводника.

88.Кусок металла объемом 20 см3 находится при температуре *Т* ≈ 0 К. Определить число свободных электронов, импульсы которых отличаются от максимального значения *РМАХ* не более, чем на 0,1 *РМАХ*. Энергия Ферми *ЕF* = 5 эВ.

89.Какая разность потенциалов *U* получается на зажимах двух элементов, включенных параллельно, если их ЭДС равны *E1 =* 1,4В, *E2*=1,2В; внутренние сопротивления *r1* = 0,6 Ом, *r2* = 0,4 Ом.

90.Батарея гальванических элементов с ЭДС *E* и внутренним сопротивлением r замкнута на внешний резистор *R*. Построить график зависимости напряжения во внешней цепи *U* от *R.*

91.Диск радиуса *R*, равномерно заряженный с плотностью *σ*, вращается равномерно со скоростью *ω* вокруг оси, проходящей через центр диска нормально к его плоскости. Определить магнитное поле на оси диска.

92.Шар радиуса *R*, равномерно заряженный с объемной плотностью *ρ*, вращается равномерно с угловой скоростью *ω*. Найти магнитное поле в центре шара.

93.По тонкой трубе радиуса *R* и длиной *2L* течет смывающий ее поверхность равно распределенный ток *I*. Найти магнитное поле на оси трубы.

94.Тонкий стержень массой m и длиной *l* равномерно заряжен по длине электричеством *τ* и вращается вокруг оси, проходящей через один из торцов стержня со скоростью *ω* **.**Определить модуль отношения магнитного и вращательного моментов.

95.Однородное электрическое (*Е* = 3 В/см) и магнитное поля (*В* = 1 гаусс) взаимно перпендикулярны. Каковы должны быть модуль и направление скорости электрона, чтобы его траектория была прямолинейна?

96.α – частица, прошедшая в электрическом поле ускоряющую разность потенциалов *∆φ* =2 кВ, влетела в магнитное поле с индукцией *В* = 2 Тл под углом *α* = 300 к линиям поля. Определить радиус и шаг спирали, описываемый *α* – частицей.

97.Плоский контур с площадью 50 см2 , по которому течет ток *I* =50А, помещен в однородное магнитное поле с индукцией *В* = 1 Тл. Определить потенциальную энергию контура в тот момент, когда плоскость контура параллельна линиям магнитной индукции.

98.Рамка, содержащая *N* = 10 витков тонкой проволоки, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля, с частотой *n =* 20 с-1. Площадь рамки *S* = 100 см2, ее электрическое сопротивление *R* =0,02 Ом, магнитная индукция *В* = 10 мТл. Определить максимальную ЭДС *EМАХ* , индуцируемую в рамке, а также заряд *q* , который протечет по рамке при увеличении угла между нормалью к плоскости рамки и линиями индукции от 0 до 600.

99.Цепь, содержащая активное сопротивление *R* = 20 Ом и индуктивность *L* = 10 мГн, подключена к источнику ЭДС. Определить время, в течение которого сила тока уменьшается в е раз (*е* – основание натурального логарифма).

100.Найти индуктивность соленоида, состоящего из *N* витков медной проволоки, поперечное сечение которой *S* = 1 мм2.Длина соленоида 25 см, его сопротивление .2 Ом.

101.Найти самоиндукцию *n* витков обмотки, намотанных на тороид прямоугольного сечения, внутренний и внешний радиусы которого равны соответственно *R1* и *R2*, а высота *h.*

102.Достаточно длинный соленоид может сжиматься и растягиваться, как пружина, имеющая жесткость *К*. По соленоиду проходит ток *I,* длина соленоида при этом *l.* Определить первоначальную длину соленоида *l0.*

103.В однородном магнитном поле с индукцией *В* = 0,1 Тл расположен плоский проволочный виток так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции. Виток замкнут на гальванометр. Полный заряд, прошедший через гальванометр при повороте витка, *q* = 7,5 \*10-3 Кл. На какой угол повернули виток? Площадь витка 1000 см2, сопротивление витка 2 Ом.

104.Электродвигатель питается от батареи с ЭДС *E* = 12 В. Какую мощность *N* развивает двигатель при протекании по его обмотке тока *I* = 2 А, если при полном затормаживании якоря по цепи течет ток *I0* =3 А?

105.Электрическая цепь из конденсатора неизвестной емкости, катушки индуктивности *L* и резистора сопротивлением *R* , соединенных последовательно, подключена к источнику переменного тока. Ток и напряжение меняются с частотой *ω: E = E0 \* Соs(ωt) , I = E0/R \* Соs(ωt)*. Найти амплитуду колебаний напряжения на конденсаторе.

106.На каком расстоянии *d* находятся два когерентных источника света, излучающих монохроматический свет *λ* = 5,7\*10-7м , если на экране, находящемся на расстоянии *l* = 3,5м от источников, наблюдаются полосы интерференции, расстояние между которыми *∆х* =1,5мм?

107.Плосковыпуклая стеклянная линза с фокусным расстоянием *F* =1м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластине. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете *r5* = 1,1мм.Определить длину световой волны *λ*, падающей на линзу.

108.Расстояние между двумя мнимыми изображениями источника света 0,5 мм; расстояние до экрана 5м. Расстояние от центрального изображения щели до первого максимума для зеленых лучей 5мм. Определить длину волны зеленых лучей.

109.На дифракционную решетку, имеющую *N* = 50 штрихов на 1мм, падает монохроматический свет *λ* = 0,65мкм. На каком расстоянии *l* от центрального максимума находится первый максимум, если экран расположен на расстоянии *L* = 80см от решетки?

110.Дифракционная решетка, имеющая число штрихов *N* = 100 мм -1, помещена на расстоянии *х* = 2м от экрана и освещается пучком белого света (*λ2* =760 нм, *λ1* = 400 нм), падающим на решетку перпендикулярно. Определить ширину дифракционного спектра первого порядка.

111.Определить период дифракционной решетки, если при освещении ее светом *λ1* = 656,3 нм *К1* – главный максимум виден под углом *φ* = 410, а при освещении светом *λ2* = 410,2 нм под этим же углом наблюдается *К2* – главный максимум. Максимальный дифракционный порядок равен *13*.

112.Предмет находится на расстоянии 18см от оптического центра собирающей линзы с фокусным расстоянием *F1* = 12см. В фокальной плоскости заднего фокуса находится плоское зеркало. Определите, на каком расстоянии от линзы получится изображение предмета, даваемое этой системой и какое оно?

113.Диаметр красного кровяного шарика 7 мкм. Определить диаметр изображения этого шарика при рассмотрении в микроскоп с фокусным расстоянием объектива 4мм и фокусным расстоянием окуляра 24 мм, если предметное стеклышко расположено на расстоянии 4,2 мм от оптического центра объектива?

114.Стеклянная пластинка толщиной *d* =3 мм имеет на верхней и нижней сторонах царапины. Чему равен показатель преломления пластинки *n*, если при наведении микроскопа с верхней царапины на нижнюю его тубус опускают на расстояние *l* = 2мм. Углы отклонения от оси микроскопа лучей, попадающих в объектив, считать малыми.

115.Две плосковогнутые стеклянные линзы *(nст* =1,66) , будучи сложенными плоскими сторонами, образуют линзу с фокусным расстоянием *F1 .*Найти фокусное расстояние линзы *F2* ,которая получится, если сложить эти линзы вогнутыми сторонами, а пространство между ними заполнить водой ( *n в* = 1,33).

116.Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол *φ* = 400. Принимая за коэффициент поглощения каждого николя *К* = 0,15, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на второй николь.

117.Луч света падает на границу раздела « стекло – вода». Отраженный луч оказывается полностью поляризован. Определить угол падения света.

118.Естественный свет проходит через два поляризатора, скрещенных под углом 450. Какова интенсивность света после второго поляризатора, если на первый падает свет с интенсивностью 25 Вт/м2 ?

119.Докажите, что при падении света на границу раздела двух сред под углом Брюстера отраженный и преломленный лучи образуют прямой угол?

120.Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме *λ* = 589 нм, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси ( *n0* = 1,66, *nе* =1,49 ). Определите длины волн этих лучей в кристалле. .

РАЗДЕЛ 4

**КВАНТОВАЯ ФИЗИКА, ATOM И ЯДРО**

**ПРОГРАММА**

**7. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ. ПОНЯТИЕ ОБ АТОМЕ И АТОМНОМ ЯДРЕ**

***7.1. Экспериментальное обоснование основных идей квантовой теории***

Обоснование идеи квантования (дискретности): опыты Франка и Герца, опыты Штерна и Герлаха, резонансы во взаимодействии нейтронов с атомными ядрами, пионов с нуклонами. Постулаты Бора. Правило частот Бора. Линейчатые спектры атомов: Принцип соответствия.

***7.2. Фотоны***

Энергия и импульс световых квантов. Эффект Комптона. Образование и аннигиляция электронно-позитронных пар. Элементарная квантовая теория излучения. Вынужденное и спонтанное излучение фотонов. Принцип работы квантового генератора.

***7.3. Корпускулярно-волновой дуализм***

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Дифракция нейтронов. Волновые свойства микрочастиц и соотношения неопределенностей.

***7.4. Квантовое состояние***

Задание состояния микрочастицы: волновая функция, ее статистический смысл. Суперпозиция состояний в квантовой теории. Вероятность в квантовой теории. Амплитуда вероятностей.

***7.5. Уравнение Шредингера***

Временное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера; стационарные состояния.

***7.6. atom***

Частица в сферически симметричном поле. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциалы возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов. Пространственное распределение электрона в атоме водорода.

***7.7. Атомное ядро***

Строение атомных ядер. Ядерные реакции. Механизмы ядерных реакций. Радиоактивные превращения атомных ядер.Реакция ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерный реактор. Проблема источников энергии. Термоядерные реакции. Энергия звезд. Управляемый термоядерный синтез.

***7.8. Основы физики твердого тела***

Элементы зонной теории кристаллов. Зонная структура энергетического спектра электронов. Уровень Ферми. Число электронных состояний в зоне. Заполнение зон; металлы, диэлектрики, полупроводники. Понятие о дырочной проводимости. Собственные примесные полупроводники. Контактные и термоэлектрические явления.

**Указания к решению задач.**

**Постулаты Бора**

В основе теории атома, созданной Бором, лежат следующие постулаты:

1. Атомы могут длительное время находиться только в определенных, так называемых стационарных состояниях. Энергии стационарных состояний  *. . . .* образуют дискретный спектр.

2. Электрон на каждой стационарной орбите обладает определенной энергией и движется по орбите, не излучая энергии.

3. При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией *Еп* в другое состояние с энергией *Ет* (*Em*,< *Еп)* происходит излучение кванта света.

Однако не следует полагать, что подобные, точно определенные орбиты действительно существуют. Модель атома Бора — это модель, а не реальность. Точнее говорить не об электронах как материальных точках, обращающихся вокруг ядра по классическим орбитам, а подразумевать под орбитой область пространства, соответствующую вероятностям положения электрона в атоме.

**Момент импульса электрона**

Электроны могут двигаться в атоме не по любым, а только по орбитам вполне определенного радиуса. На этих орбитах (стационарных) момент количества движения  электрона кратен величине . Это положение носит название «правило квантования».

,

где *т —* масса электрона;

*Vn —* скорость электрона на *п-н* орбите;

*Rn —* радиус *п-й* стационарной орбиты;

*h—*постоянная Планка;

*п —* главное квантовое число *(п==* 1, 2,....).

**Радиус** ***n-*й стационарной орбиты**



где - радиус Бора;  = 0,529 • 10-10 м.

Радиус Бора  *—* это радиус первой орбиты электрона (*n*=1) для атома водорода.

# Орбитальный магнитный момент атома

Электрон, движущийся по замкнутой орбите вокруг ядра, эквивалентен круговому току, магнитный момент которого

,

где *Т—* период обращения электрона;

S - площадь, охватываемая орбитой электрона.

Магнитный и механический моменты связаны междусобойсоотношением

******

где *q —* заряд точечной частицы;

*т —* масса частицы;

L — механический момент частицы.

Для электрона это выражение можно записать в виде:

,

где *h —* постоянная Планка,

называется «магнетон Бора».

# Пространственное квантование

Результаты опыта Штерна и Герлаха по измерению магнитного момента атома привели к выводу, что «ориентация магнитных моментов относительно магнитного поля изменяется дискретно». Это положение получило название «пространственное квантование».

Таким образом, дискретны не только атомные состояния, но дискретны также и ориентировки магнитных моментов атомов во внешнем магнитном поле.

**Энергия электрона в атоме водорода**

Энергия электрона в атоме оказывается квантованной и зависит от номера энергетического уровня (от квантового числа *п).*

Полная энергия  электрона *n*-й орбите в атоме с зарядовым числом ядра *(Z)* определяется соотношением

***,***

где *е —* заряд электрона;

*т—*масса электрона;

—электрическая постоянная;

*h —* постоянная Планка;

*п—*номер энергетического уровня;

или

***,***

где  — энергия ионизации водорода.

**Энергия ионизации атома**

Если атом поглощает энергию извне, то энергия электрона атома увеличивается и он переходит на более высокую (внешнюю) орбиту. Если сообщенная электрону энергия достаточно велика, то он может перейти на орбиту с *,* т. е. покинуть пределы атома. В результате атом ионизируется. Энергия, необходимая для ионизации атома, называется энергией ионизации. Она определяется соотношением



где *т —* масса электрона;

*Z—*порядковый номер атома;

*е —* заряд электрона;

— электрическая постоянная;

*h —* постоянная Планка.

**Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода**

Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением (или поглощением) энергии.

Переход электрона с одной стационарной орбиты на другую сопровождается излучением (или поглощением) кванта энергии.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода



или



где  *—* энергия ионизации;

*h—*постоянная Планка;

— частота излучаемого кванта;

* —* квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которы- ми совершаетсяпереходэлектрона в атоме.

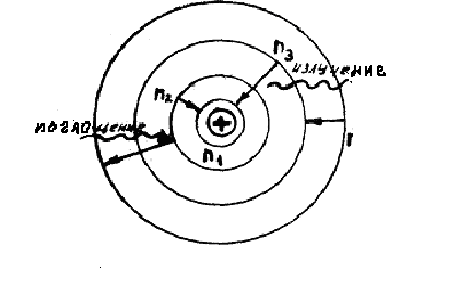


Рис. 26

Спектроскопическое волновое число

******

где  — длина волны излучения или поглощения атомом;

*R —* постоянная Ридберга.

Применительно к водородоподобным атомам спектральная формула Бора имеет вид

******

где *Z—* атомный номер элемента.

Эта формула носит также название «сериальной формулы», так как линии в спектре атома образуют определенные серии, связанные между собой указанным соотношением и номером уровня, на который переходит электрон.

В зависимости от того, на какой энергетический уровень происходит переход электронов, излучается та или иная серия. На рис. 27 изображена схема перехода электронов, соответствующая некоторым сериям.

При . серия Лаймана.

При  серия Бальмера.

При серия Пашена.

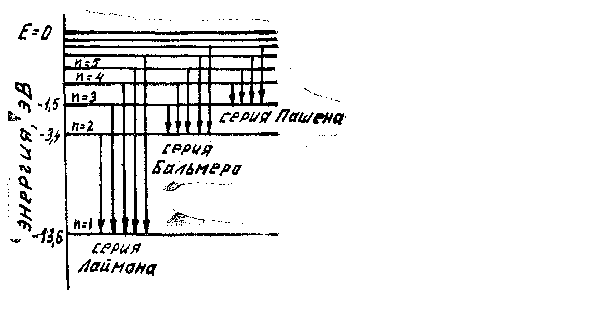


Рис. 27

Если переход происходит с низших энергетических уровней на высшие, то происходит поглощение энергии и образуются спектры поглощения, соответствующие этим сериям.

**Квантовые числа электрона**

Состояние электрона в атоме характеризуется значениями квантовых чисел.

**Главное квантовое число га**

Соответствует номеру энергетического уровня; *п—*целое число. Оно может принимать любое целочисленное значение от *п=* 1 до .

**Орбитальное квантовое число *l***

Связано с моментом импульса электрона. Оно может принимать целочисленное значение от 0 до *п—*1.

**Магнитное квантовое число *mi***

Характеризует ориентацию момента импульса и может принимать целочисленные значения от —*1* до *+l.*

**Стеновое квантовое число *тs***

Число, которое принимает только два значения . Электрон может находиться в двух различных состояниях, отвечающих присущей ему характеристике, которая называется «спин». Эти два возможных значения спинового квантового числа часто характеризуют как «спин вверх» и «cпин вниз», имея в виду два возможных направления спинового момента импульса.

**Фотон**

Под фотоном понимается физический объект, связанный с электромагнитным излучением, который при взаимодействии излучения с веществом всегда ведет себя как единое целое.

Не существует части фотона, а существует только целый фотон.

Однако нельзя представить себе фотон как некоторую область, заполненную электромагнитным полем. Нельзя соотнести отдельному фотону напряженность электрического поля, которой характеризуется электромагнитная волна.

В то же время фотон нельзя представить в виде точечного объекта, который в каждый момент времени занимает определенное положение в пространстве и таким образом движется по определенной траектории. Фотон является квантовым объектом, который нельзя представить с помощью классических образов.

**Корпускулярно-волновой дуализм**

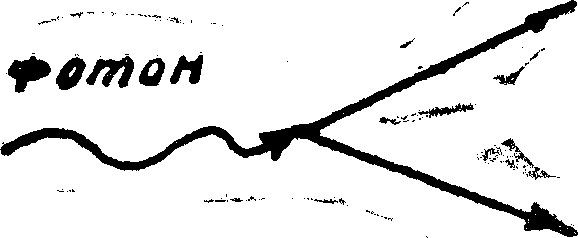
В определенных физических ситуациях модель квантового объекта сводится в существенной части либо к классической модели волны, либо к классической модели материальной точки. В этих случаях квантовый объект приобретает наглядный классический образ и достаточно хорошо описывается классической моделью.

Одновременное обладание квантовым объектом (частицей вещества или излучением) корпускулярными и волновыми свойствами называется корпускулярно-волновым дуализмом.

**Фотон и рождение пар**

Фотон обладает энергией, которая может превращаться в массу. Чаще всего это происходит при рождении позитрона и электрона. (Позитрон имеет такую же массу, как и электрон, но отличается от электрона противоположным по знаку зарядом +е). Такой процесс называется рождением пары и сопровождается исчезновением фотона.

***e-***



е+

Рис. 28

Фотон не может образовать только один электрон, так как при этом нарушался бы закон сохранения электрического заряда.

**Энергия фотона**

Свет испускается отдельными порциями или квантами, т. е. в виде некоторых частиц (фотонов). Энергия фотона связана с частотой колебаний соотношением.

,

где  — частота фотона;

*h —* постоянная Планка (численно равна энергии фотона с частотой ).

**Масса фотона**

Фотон — релятивистская частица. Он всегда движется со скоростью света. Следовательно, масса покоя фотона равна нулю . Полная масса фотона определяется по формуле

,

где *с* — скорость света в вакууме;

*—*длина волны фотона;

*h —* постоянная Планка.

## Импульс фотона

******

**Оптика**

1. Взаимосвязь массы и энергии

,

где *т* — полная (релятивистская) масса частицы;

с — скорость света в вакууме,

или

,

где  *—* масса покоя частицы;

 — скорость частицы, выраженная в долях скорости света в вакууме; ;

*—*энергия покоя частицы.

2) Релятивистская масса

Еcли скорость частицы составляет .значительную долю скорости света в вакууме, то ее масса определяется соотношением

 или ,

где  — масса покоя частицы;

* —* скорость;

—скорость частицы, выраженная в долях скорости света.

3) Полная энергия частицы

Полная энергия частицы равна энергии покоя плюс кинетическая энергия (предполагается, что частица не обладает потенциальной энергией)

***,***

где *Т —* кинетическая энергия релятивистской частицы.

4) Кинетическая энергия релятивистской частицы

***.***

5) Импульс релятивистской частицы

.

6) Связь между полной энергией и импульсом релятиви­стской частицы

.

**Пример 4.1.** -мезон (=2,40-10-28 *кг*) движется со скоростью *v*=0,80 *с*=2,40-108 *м/с*. Чему равна его кинетическая энергия? Полученный ответ сравните с вычислениями по классической механике.

**Решение.** Масса -мезона при *v* =0,80 *с* определяется по формуле релятивистской механики, так как *.*

 , (1)

где  *—* масса покоя -мезона;

*с—*скорость света в вакууме, с=3,00\*108 *м/с*.

Подставляя числовые значения в формулу (1), получим



Анализ наименований единиц измерения физических величин



Кинетическая энергия этой частицы определяется по формуле

. (2)

Подставляя числовые значения физических величин в формулу (2), получаем

.

Анализ наименований



Вычисления по формулам классической механики





*T’<< T*

То есть формулы классической механики дают очень большие погрешности при использовании их в случаях движения частиц со скоростями близкими к скорости света в вакууме.

**Волновые свойства частиц**

**Длина волны де Бройля**

Все материальные частицы, являясь квантовым объектом, обладают не только корпускулярными, но и волновыми свойствами. Согласно де Бройлю, длина волны, отвечающая материальной частице, связана с ее импульсом соотношением:

,

где *т —* масса частицы;

*v —* скорость частицы;

*р —* импульс частицы;

*h —* постоянная Планка;

*λ —* длина волны де Бройля.

**Пример 4.5.** Вычислить длину волны де Бройля для мяча массой 0,20 *кг*, летящего со скоростью 15 *м/с.*

**Решение.** Длина волны де Бройля определяется по формуле

 , (1)

где *h—*постоянная Планка; .

Подставляем числовые значения в формулу (I):



Анализ наименований:



Дебройлевская длина волны обычного тела слишком мала, чтобы ее можно было обнаружить и измерить.

У элементарных частиц длина волн де Бройля достигает значительных величин, поддающихся измерению.

**Пример 4.6.** Определить дебройлевскую длину волны электрона, ускоренного разностью потенциалов 100 *В.*

**Решение.** При такой ускоряющей разности потенциалов (100 *В*) скорость электрона v много меньше скорости света *с,* поэтому можно воспользоваться формулами классической механики.

Приращение кинетической энергии равно уменьшению потенциальной энергии. Таким образом, имеем

, (1)

где —масса электрона;

*v —* скорость электрона;

е — заряд электрона;

*U —* ускоряющая разность потенциалов.

Из выражения (1) получаем:

*.* (2)

Подставляем в формулу (2) числовые значения:

.

Определяем длину волны де Бройля:

 , (3)

где - постоянная Планка ; 

Анализ наименований единиц измерения физических величин.:

.

### Дифракция электронов

Согласно гипотезе де Бройля, частицы, например электроны, должны испытывать дифракцию на мишени так же, как и рентгеновские лучи испытывают дифракцию при отражении от атомных плоскостей в кристалле.

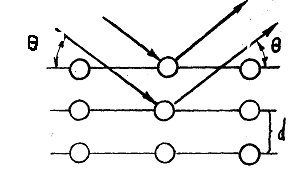


Рис. 29

Формула Вульфа—Бреггов, описывающая положение максимумов в дифракционной картине рентгеновских лучей, имеет вид:

,

где *d—*расстояние между атомными плоскостями кристалла;

—угол между направлением потока лучей и плоскостью, в которой лежат атомы (угол скольжения);

*п —* порядок (номер) дифракционного максимума;

 — длина волны квантовых объектов.

**Принцип неопределенности Гейзенберга**

Это принцип утверждает, что нельзя измерить одновременно с абсолютной точностью положение и импульс объекта. Чем точнее мы пытаемся определить положение объекта, т. е. чем меньше неопределенность в определении координаты *Δх,* тем больше будет неопределенность в импульсе *Δр*.

,

где *h —* постоянная Планка;

 — неопределенность проекции импульса на ось *х;*

*Δх —* неопределенность координаты.

Важно то, что практически*Δx* и Δ*р* никогда не будут равны нулю.

*******,*

где *λ —* длина волны фотона, используемого для определения координаты и импульса частицы.

Один из вариантов принципа неопределенности связывает энергию и время

,

где  *—* неопределенность энергии;

*Δt —-* время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Эта форма принципа неопределенности эквивалентна утверждению, что энергия объекта может быть неопределенной или даже не сохраняться на величину *ΔЕ* в течение интервала времени 

**Волновая функция**

Так как точное определение координаты частицы невозможно, то в квантовой физике каждой частице ставят в соответствие амплитуду вероятности *Ψ (х, у,z, t),* которая представляет собой функцию координат и времени.

Вероятность обнаружить частицу в произвольный момент времени *t* в любой точке *х, у, z* пропорциональна . Формально функция *Ψ* обладает свойствами классических волн и поэтому ее называют волновой функцией.

**Принцип суперпозиции**

Если событие может произойти несколькими взаимно ис­ключающими способами, например, при прохождении частицы через одну из щелей (А и В), то амплитуда вероятности этого события представляет собой сумму амплитуд вероятностей каждого из способов

*.*

**Уравнение Шредингера**

В общем случае на частицу могут действовать внешние силы, характеризуемые потенциальной энергией взаимодействия *U(x).*

При этом, поскольку полная энергия *,* сохраняется постоянной, возрастание потенциальной энергии *U* будет сопровождаться уменьшением импульса *р* и соответствующим увеличением длины волны.

Следовательно, волновой функции должна соответствовать меняющаяся длина волны. Точный вид волновой функции  *с* меняющейся длиной волны можно найти, решая диф­ференциальное уравнение, называемое уравнением Шредингера.

Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний имеет вид

*******,*

где *Ψ(x) —*волновая функция, описывающая состояние частицы;

*т —* масса частицы;

*Е—*полная энергия частицы;

*U==U(x) —*потенциальная энергия частицы.

Оно применимо к нерелятивистским системам при условии, что распределение вероятностей не меняется со временем.

#### Плотность вероятности

*******,*

где *dω(x) —*вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой *х* на участке *dx.*

Вероятность обнаружения частицы в интервале от 

*.*

**Пример 4.7.** Используя принцип неопределенности покажите, что электрон не может находиться внутри атомного ядра.

**Решение.** Неопределенность величины импульса электрона должна быть по меньшей мере



где *Δx —* неопределенные координаты;

 (радиус ядра атома).

Полная энергия электрона с таким импульсом определяется по формуле:

.

Электростатическая энергия связи равна для любых ядер меньше, чем 10 МэВ. Следовательно, электрон не может находиться внутри ядра.

**Пример 4.8.** В точке *Р* находится счетчик Гейгера. Амплитуда волны, прошедшей через щель *А* и достигающей точки*Р****,*** в условных единицах равна , а в случае щели *В* мы имеем .

Если открыть только щель *А,* то в точке *Р* ежесекундно регистрируется 100 электронов.

а) Сколько электронов регистрируется ежесекундно, если открыта только щель В?

б) Если открыты обе щели и происходит интерференция, то сколько будет ежесекундно регистрироваться электронов?

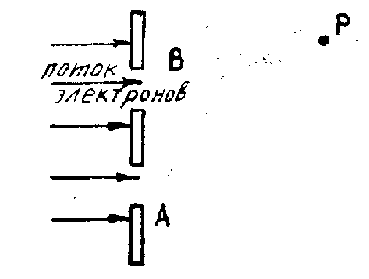


Рис. 30

**Решение.** Отношение интенсивностей волн  Следовательно, через щель *В* ежесекундно проходит в 9 раз больше частиц, чем через щель *А,* т. Е. 900 электронов.

В случае «б»—полная амплитуда волны  или *Ψ=8*. Поскольку  то в точке *Р* будет регистрироваться 1600 электронов в секунду.

**Атомное ядро**

##### Размер атомного ядра

Средний радиус ядра (за исключением самых легких ядер) определяется соотношением



где *А —* массовое число.

##### **Массовое число ядра**

Ядро атома состоит из протонов и нейтронов. Они носят общее название — нуклон. Число протонов в ядре называется атомным номером, обозначается буквой *Z*. Число нейтронов в ядре обозначается буквой *N.* Общее число нуклонов обозначается буквой *N* и называется «массовым числом».

Таким образом, *A=Z+N,*

где *Z* — число протонов (зарядовое число);

*N —* число нейтронов.

**Радиоактивность**

Радиоактивностью называют самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого элемента, сопровождающееся испусканием элементарных частиц или ядер.

###### Закон радиоактивного распада

Число ядер убывает по экспоненциальному закону;

,

где *dN —* число ядер, распадающихся за время *dt;*

*N—*число ядер, не распавшихся к моменту времени *t*;

*No—*число ядер в начальный момент (при *t*=0);

*λ* - постоянная радиоактивного распада.

Величина *λ* характеризует вероятность распада одного атома в одну секунду.

Число ядер, распавшихся за время *Δt*



Если  много меньше периода полураспада , то число распавшихся ядер можно определить по формуле

**

**Период полураспада**

Для характеристики радиоактивных элементов вводится понятие период полураспада . Под ним понимается время, в течение которого распадается половина наличного числа атомов. Никакие внешние условия не могут повлиять на характер и скорость распада.

**Связь периода полураспада и постоянной радиоактивного распада**

*.*

**Среднее время жизни радиоактивного ядра**

Радиоактивный распад — явление статистическое. Невозможно сказать, когда именно распадается данное ядро, а можно лишь указать, с какой вероятностью оно распадется за тот или иной промежуток времени.

Следовательно, среднее время жизни *τ* радиоактивного ядра связано с постоянной радиоактивного распада. Радиоактивные ядра не «стареют». К ним вообще неприменимо понятие возраста, а можно лишь говорить о среднем времени их жизни. Таким образом, имеем:



# Активность радиоактивного распада

Активностью радиоактивного распада называется величина

******

Она определяет число распадов в секунду. Активность является характеристикой всего распадающегося вещества, а не отдельного атома.

**Число атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе.**

,

где *m* — масса изотопа;

*NA —* число Авогадро;

*μ* — молярная масса.

**Удельная активность изотопа**

***.***

**Альфа-распад**

Явление α распада состоит в том, что ядро самопроиз­вольно испускает α- частицу и превращается в другое ядро с массой, меньшей на 4 единицы, и с атомным номером, меньшим на 2 единицы.

,

где *X —* материнское ядро;

*Y—*дочернее ядро;

 — α- частица.

**Бета-распад**

Бета-распадом называют процесс превращения нестабильного ядра в ядро, отличное от исходного на , сопровождаемый испусканием электрона (позитрона) или захватом электрона с оболочки атома. Одновременно ядро испускает нейтрино или антинейтрино. При этом один из нейтронов ядра превращается в протон или наоборот.

* распад,* при котором из ядра вылетает электрон и антинейтрино 

**

*-распад,* при котором из ядра вылетает позитрон и нейтрино

.

*К-захват—*явление, при котором ядро захватывает электроны с атомной оболочки и испускает нейтрино.

.

*Ядерные реакции*

Ядерной реакцией называется процесс перестройки ядра, сопровождаемый генерацией новых частиц, возникающий в результате взаимодействия ядер или ядра и частицы при их сближении до расстояний, на которых проявляется действие ядерных сил ().

Запись реакции производится либо в форме, аналогичной записи химической реакции



либо в виде

*,*

где α *—* частица;

*А —* ядро-мишень;

*b —* вылетающая частица;

*В —* продукт реакции (конечное ядро).

В полном виде запись реакции содержит символы элементов, число зарядов и массовые числа.

,

где  *—* массовые числа ядер; *;*

*—*зарядовые числа ядер ;

*γ* — энергетический эффект реакции.

При этом , если энергия выделяется,

, если энергия поглощается.

**Энергия связи ядра**

Полная энергия ядра *Е* связана с его массой соотношением

,

где  *—* масса ядра;

с — скорость света в вакууме.

Это выражение называется законом взаимосвязи массы и энергии.

Точные измерения масс ядер показали, что масса ядра не равна сумме масс, входящих в состав ядра частиц, а всегда меньше этой величины.

Величина  называется дефектом массы ядра, где *Z* — зарядовое число (число протонов в ядре); *А—*массовое число (число нуклонов в ядре); A—*Z —* число нейтронов в ядре; —масса нейтрона; *—*масса протона;  *—* масса ядра.

Дефект массы *Δm* характеризует энергию связи ядра, т. е. энергию, которую нужно затратить, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны.

*Δm* — это часть массы, которая превратилась в энергию(энергию излучения, кинетическую энергию и т. д.) при образовании ядра,

Если бы масса ядра атома была бы в точности равна сумме масс протонов и нейтронов, из которых оно состоит, то ядро распалось бы самопроизвольно, без сообщения ему дополнительной энергии.

Так как число электронов в атоме равно числу протонов в ядре, то масса атома может быть вычислена по формуле



где  *—* масса атома водорода;

*;*

* —* масса электрона.

Энергия связи электронов в атоме очень мала по сравнению с энергией связи ядра.

Таким образом, энергия связи атомного ядра может быть подсчитана по формуле

**,**

где —разность между массой частиц, составляющих ядро, и массой ядра;

*с* — скорость света в вакууме.

*.*

Удельная энергия связи атомного ядра

Энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон, .называется удельной энергией связи атомного ядра

 ,

где *А* — число нуклонов в ядре.

Если дефект массы выражать в а. е. м. (атомная единица кассы), то энергии связи можно вычислить по формулам

.

****

**-** мегаэлектрон ⋅ вольт

**Энергия ядерных реакций**

При ядерных реакциях происходит перераспределение нуклонов, образование их новых сочетаний, т. е. новых ядер. Поэтому в соответствии с законами взаимосвязи массы и энергии и законом сохранения энергии ядерные реакции сопровождаются выделением или поглощением энергии, так как суммарные массы частиц, вступивших в реакцию, отличаются от суммы масс, получившихся в результате реакции.

Если сумма масс частиц, вступивших в реакцию, больше, чем сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции, то энергия выделяется. Если сумма масс частиц, вступивших в реакцию, меньше, чем сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции, то энергия поглощается.

В соответствии с законом взаимосвязи массы и энергии энергетический эффект ядерной реакции определяется по формуле

,

где —разность между суммарной массой частиц, вступивших в реакцию, и суммарной массой продуктов реакции;

*Δm* — выражается в а. е. м.; *Е —* в *МэВ.*

Пример 4.9. Период полураспада  составляет 5730 лет. В какой-то момент времени образец содержит  ядер . Чему равна активность образца?

Решение. Постоянная радиоактивного распада вычисляется по формуле

***,*** (1)

где  — период полураспада.





Активность может быть определена по формуле

** (2)

Подставляем числовые значения

.

Анализ наименований единиц измерений физических величин:



Контрольная работа № 4

Номеразадач, составляющих контрольную работу, выбираются курсантом в таблице вариантов в зависимости от двух последних цифр шифра курсанта. Тексты условий задач приведены ниже.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Последняя  цифра  шифра | Предпоследняя цифра шифра | |
| Нечетная | Четная |
| Номера задач | |
| **1**  **2**  **3**  **4**  **5**  **6**  **7**  **8**  **9**  **0** | 125,129,133,137,141,150,154,158  124,128,132,136,145,149,153,157  123,127,131,140,144,148,152,156  122,126,135,139,143,147,151,160  121,130,134,138,142,146,155,159  125,128,131,139,142,150,153,156  124,127,135,138,141,149,152,160  123,126,134,137,145,148,151,159  122,130,133,136,144,147,155,158  121,129,132,140,143,146,154,157 | 121,126,131,136,141,146,151,156 122,127,132,137,142,147,152,157 123,128,133,138,143,148,153,158  124,129,134,139,144,149,154,159  125,130,135,140,145,150,155,160  121,127,133,139,145,146,152,158  122,128,134,140,141,147,153,159  123,129,135,136,142,148,154,160  124,130,133,137,143,149,155,156  125,128,132,138,144,150,154,157 |

**Таблица вариантов**

**Задачи контрольной работы № 4**

121.На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны *λ* = 400 нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов *UЗ* , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок. Красная граница фотоэффекта для лития *λ0* = 540 нм.

122.При освещении вакуумного фотоэлемента желтым светом *λ1* = 600 нм он заряжается до потенциала *φ1* = 1,2 В. До какого потенциала *φ*2 он зарядится при освещении светом λ2 = 400 нм?

123.Плоский алюминиевый электрод освещается УФ – светом с длиной волны 83 нм. На каком минимальном расстоянии *l* от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле *Е* = 7,5 В/см?

124.Катод фотоэлемента освещается монохроматическим светом. При потенциале *φ1* = - 1,6 В фототок равен нулю. При изменении длины волны в полтора раза фототок прекращается при задерживающем потенциале *φ2* = - 1,8 В. Определить работу выхода материала катода.

125.Давление света с длиной волны λ = 400 нм, падающего на черную поверхность, *р* = 2 нПа. Определить число фотонов *N*, падающих за время *t* = 10с на площадь *S* = 1 мм2 этой поверхности.

126.При освещении катода фотоэлемента светом длиной волны *λ* = 310 нм фототок прекращается при некотором задерживающем потенциале. При увеличении длины волны на 25% задерживающее напряжение оказывается меньше на 0,8В. Определить по этим экспериментальным данным постоянную Планка *h.*

127.Калий освещается светом с *λ* = 400 нм. Определите наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекращается. Работа выхода электронов из калия равна 2,2 эВ.

128.Рентгеновское тормозное излучение (РТИ) получено при разгоне электронов до скорости *V* = 0,4с ( с – скорость света в вакууме ). Определить коротковолновую границу РТИ.

129.При какой температуре кинетическая энергия двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны *λ* ?

130.Задерживающее напряжение для платиновой пластинки (*А* = 6,3 эВ)

составляет 3,7 В. При тех же условиях для другой пластинки задерживающее напряжение равно 5,3 В. Определить работу выхода *А* электронов из этой пластинки.

131.Скорость электрона в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) 108 см/с определена с точностью до 0,01%. Можно ли говорить о расположении точки падения электрона на экран и траектории электрона, если размер пятна порядка 1 мм ?

132.Скорость движения электрона в атоме порядка 108 см/с, поперечник атома порядка 10- 8 см. Можно ли говорить об орбитальном движении электрона и о электроне как частице ?

133.π0 – мезон (масса покоя равна 2,4\*10- 20 кг) движется со скоростью *V* =0,8с. Чему равна его кинетическая энергия? Полученный ответ сравнить с вычислениями по классической механике.

134.Чему равна минимальная энергия и длина волны фотона, способного рождать электронно-позитронную пару?

135.Определить дебройлевскую длину волны электрона, ускоренного разностью потенциалов 100 В.

136.Используя принцип неопределенности, покажите, что электрон не может находиться внутри атомного ядра.

137.В точке *Р* находится счетчик Гейгера. Амплитуда волны, прошедшей через щель *А* и достигающей точки *Р*, в условных единицах равна *ΨА* = 2, а в случае щели *В* имеет *ΨВ* = 6. Если открыть только щель *А*, то в точке *Р* ежесекундно регистрируется 100 электронов. Определить: а) сколько электронов регистрируется ежесекундно, если открыть только щель *В*? б)Если открыть обе щели и происходит интерференция, то сколько будет ежесекундно регистрироваться электронов ?

138.С помощью соотношения неопределенностей оцените размеры простейшего атома водорода.

139.С помощью соотношения неопределенностей оцените минимальную энергию электрона в атоме водорода.

140.Длина волны излучаемого атомом фотона *λ =* 0,6 мкм. Принимая время жизни возбужденного состояния *τ* = 10 – 8с, определите отношение естественной ширины энергетического уровня, на который был возбужден электрон, к энергии, излученной атомом.

141.При переходе электрона в атоме водорода с четвертой на вторую орбиту излучается фотон. Определить длину волны этой линии, если при излучении фотона атом теряет 2,53 эВ энергии.

142.Определить радиус первой стационарной орбиты атома водорода и скорость электрона на этой орбите.

143.Определить потенциал ионизации атома водорода.

144.Частица находится в одномерной «потенциальной яме» шириной *l* с бесконечно высокими «стенками». Выведите выражение для собственных значений энергии *W.*

145.Волновая функция, описывающая *1s –* состояние электрона в атоме водорода, имеет вид: *Ψ( r )= С\*е –r/а* , где *r* – расстояние электрона от ядра; *а* – первый Боровский радиус. Определите нормированную волновую функцию, отвечающую этому состоянию.

146.Нормированная волновая функция, описывающая *1s* –состояние электрона в атоме водорода, имеет вид *Ψ100 (r)=( πа3)1/2\*е –r/а*,где *а* – первый Боровский радиус. Определите среднюю потенциальную энергию в поле ядра *< U*> .

147.Электрон в атоме находится в *d* – состоянии. Определить: 1)орбитальный момент импульса электрона; 2)максимальное значение проекции импульса на направление внешнего магнитного поля.

148.Найти наименьшую и наибольшую длины волн спектральных линий водорода в видимой области.

149.Какую наименьшую энергию в электрон вольтах должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел три спектральные линии. Найти длины волн этих линий.

150.Определите, какие спектральные линии появятся в видимой области спектра излучения атомарного водорода под действием ультрафиолетового излучения с длиной волны *λ* =95 нм?

151.Период полураспада *6С14* составляет 5730 лет. В какой-то момент времени образец содержит *N* = 1027 ядер *6С14* . Чему равна активность образца?

152.Сколько энергии можно извлечь из 1 г речного песка?

153.Вычислите кинетическую энергию *α* – частицы, испускаемой при превращении ядра урана 92U232 ( с массой 232,03714 а.е.м.) в ядро тория 92Тh228 ( с массой 228,02873 а.е.м.).

154.В результате столкновения нейтрино с ядром 8О16 наблюдается испускание дейтерия 1Н2. Какое ядро возникает в результате реакции?

155.Какая энергия выделяется при *β* – распаде ядра углерода 6С14 и его превращении в ядро азота 7 N14 ?

156.Кинетическая энергия *α* – частицы, вылетающей из ядра атома радия при радиоактивном распаде, равна 4,78 МэВ. Найти: 1) скорость *α* – частицы;2)полную энергию, выделяющуюся при вылете *α* – частицы.

157.Какое количество тепла выделяет 1 кюри радона: 1) в час; 2) за среднее время жизни? Кинетическая энергия вылетающей из радона *α* – частицы равна 5,5 МэВ.

158. *α* – частицы из препарата радия вылетают со скоростью 1,5\* 104 км/с и ударяются о флуоресцирующий экран. Считая, что экран потребляет 0,25 Вт на одну свечу, найти силу света экрана, если на него падают все *α* – частицы, испускаемые 1 мкг радия.

159.При бомбардировке изотопа азота 7N14 нейтронами получается изотоп углерода 6С14, который оказывается *β-* активным. Написать уравнения обеих реакций.

160.В реакции 7N14 *( α,β* )кинетическая энергия *α* – частиц равна 7,7 МэВ. Найти, под каким углом к направлению движения *α* – частицы вылетает протон, если известно, что его кинетическая энергия равна 8,5 МэВ.

**Содержание**

стр.

*Введение*…………………………………………………………………………3

Часть 1. Предмет и задачи курса «Физика»………………………………… 4

Содержание тем дисциплин…………………………………... 11

Рекомендуемая литература…………………………………………19

Часть 2. Общие методические указания по изучению предмета «Физика»27

Примеры оформления и решения задач…………………………...30

Часть 3. Раздел 1.Физические основы механики. Механические колебания

и волны. Статистическая физика………………………………... 52

Контрольная работа № 1……………………………………………98

Раздел 2. Основы термодинамики Электричество………………101

Контрольная работа № 2…………………………………………..123

Часть 4. Раздел 3. Магнетизм. Электромагнитные волны

Начала квантовой физики…………………………………………128

Контрольная работа № 3…………………………………………..152

Раздел 4. Квантовая физика. Атом и ядро………………………..157

Контрольная работа № 4…………………………………………..177

*Содержание…………………………………………………………………………..*181

Разумов Александр Александрович

Указания по изучению курса «Физика» для курсантов и слушателей специальности 280104.65 «Пожарная безопасность»

Учебно – методическое пособие

Редактор: Ю.В.Шмелёва

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подписано в печать 2009. Формат60х84 1/16

Тираж 50 экз. Заказ №

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Отделение организации научных исследований

Ивановского института ГПС МЧС России

153040, г.Иваново, пр.Строителей, 33