

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра общей и прикладной физики  
название кафедры

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ**

По дисциплине ФИЗИКА  
название дисциплины  
для всех направлений подготовки (специальности)

Мурманск  
2020

Составитель – Гнатюк Виктор Степанович, профессор кафедры общей и прикладной физики.  
МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика

Рецензент – Никонов Олег Александрович, д.ф.н., доцент кафедры общей и прикладной физики

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Общие организационно-методические указания.....	4
Содержание разделов дисциплины, виды работ.....	6

Список рекомендуемой литературы.....	8
Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины.....	10
Раздел 1. Физические основы механики.....	10
Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика.....	22
Раздел 3. Электростатика и постоянный ток.....	28
Раздел 4. Магнитное поле.....	35
Раздел 5. Оптика.....	41
Раздел 6. Элементы квантовой физики.....	46
Раздел 7. Физика твердого тела.....	50
Раздел 8. Атомное ядро и элементарные частицы. Современная картина мира.....	53

## **ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Одной из основных форм обучения студента очной формы обучения является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы кафедра физики ВУЗов организует чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы. Поэтому процесс изучения физики состоит из следующих этапов: 1) проработка лекций; 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями; 3) подготовка и выполнение РГЗ и контрольных работ; 4) прохождение лабораторного практикума; 5) сдача экзаменов и зачетов. И на каждом этапе предполагается самостоятельная работа студента.

### *1. Самостоятельная работа при проработке лекций.*

Преподавателями ВУЗа начитывается в течение семестра курс лекций по конкретному разделу физики. Но из-за нехватки аудиторного времени преподаватель должен сжимать объем информации, который выводится на обсуждение на лекционных занятиях. Поэтому после каждого лекционного занятия необходимо прочитывать записанный материал, чтобы восстановить логику изложения материала и прорабатывать не хватающие элементы. Регулярная проработка лекций обеспечивает также подготовку студента к практическим и лабораторным занятиям, что в свою очередь, позволяет экономить время на соответствующих занятиях.

### *2. Самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями.*

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- 1) составлять конспект, в котором записываются законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических понятий и сущность физических явлений и методов исследования (план конспекта рассмотрен ниже в пункте «Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины»);
- 2) изучать курс физики систематически, так как в противном случае материал будет усвоен поверхностно;
- 3) пользоваться каким-то одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом пособий), чтобы не утрачивалась логическая связь между отдельными вопросами, по крайней мере, внутри какого-то определенного раздела курса.

### *3. Самостоятельная работа при подготовке и выполнении РГЗ и контрольных работ.*

Решение задач по физике – неотъемлемая часть процесса изучения данной дисциплины. При решении задач формируется навык применять законы физики на практике, видеть следствия из применяемых законов, закладывается физическая интуиция студентов.

Расчетно-графические задания позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить три РГЗ и написать шесть контрольных работ. Решение задач в контрольных работах является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса, а рецензии на работу помогают ему доработать и правильно освоить различные разделы курса физики.

Рекомендации к решению задач:

- 1) прежде чем приступить к решению той или иной задачи, студент должен хорошо понять ее содержание и поставленные в ней вопросы;
- 2) приступая к решению задач по какому-либо разделу, необходимо ознакомиться по лекциям, дополнительной учебной литературе с конкретными понятиями и соотношениями, относящихся к этому разделу курса физики;
- 3) сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;
- 4) сделайте, где это необходимо, чертеж, схему или рисунок, поясняющий описанный в задаче процесс;
- 5) напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс;

- 6) используя чертежи и условие задачи, преобразуйте уравнения так, чтобы, в них входили лишь исходные данные и табличные величины;
- 7) решив задачу в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;
- 8) произведите вычисления и, получив ответ, оцените его физическую реальность.

#### *4. Самостоятельная работа при прохождении лабораторного практикума.*

Выполнение лабораторных работ, также является неотъемлемой частью процесса изучения физики, так как только при выполнении эксперимента можно убедиться в действительности физических законов.

Методические рекомендации к самостоятельной работе при прохождении лабораторного практикума:

- 1) перед каждым лабораторным занятием, на котором планируется выполнение экспериментальной работы необходимо составить конспект основного теоретического материала, необходимого к данной работе;
- 2) после основных теоретических сведений необходимо проделать вывод всех расчетных формул, используемых при обсчете данного эксперимента;
- 3) необходимо четко уяснить методы расчета погрешностей измеряемых величин;
- 4) заготовить таблицы-отчеты, в которые будут вноситься экспериментальные данные в ходе выполнения лабораторной работы;
- 5) выполнив лабораторную работу необходимо провести все необходимые вычисления по расчетным формулам и расчет погрешностей измерения;
- 6) в конце работы обязательно должен присутствовать вывод студента по данной работе;
- 7) заключительным этапом сдачи лабораторной работы является защита, на которой студент должен ответить на ряд контрольных теоретических вопросов.

#### *5. Самостоятельная работа при подготовке к сдаче экзаменов и зачетов.*

При подготовке к сдаче экзамена или зачета по дисциплине «физика» необходимо подробно рассмотреть весь накопленный и проработанный за семестр материал, сопоставить имеющийся материал с вопросами к зачету или экзамену. Для успешной сдачи зачета или экзамена необходимо четко знать все основные физические понятия и законы, связывающие физические величины. Необходимо иметь представления о взаимосвязях физических явлений, входящих в изучаемый раздел, уметь анализировать следствия из фундаментальных законов и знать их практическое применение.

**Содержание разделов дисциплины, виды работы**

Таблица 1

Содержание разделов, тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки
	Л/ЛР/ПЗ/СРС
<b>Первый курс. Первый семестр</b>	
<p><b>1. Кинематика.</b>                      Основные кинематические характеристики криволинейного движения: скорость и ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорение. Кинематика вращательного движения: угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейной скоростью и ускорением.  <b>Динамика.</b>                      Инерциальные системы отсчета и первый закон Ньютона. Второй закон Ньютона. Масса, импульс, сила. Уравнение движения материальной точки. Третий закон Ньютона и закон сохранения импульса. Закон всемирного тяготения. Силы трения.</p>	4/8/2/2
<p><b>2. Момент импульса.</b>                      Момент импульса материальной точки и механической системы. Момент силы. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса механической системы.  <b>Динамика вращательного движения.</b>                      Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела с закрепленной осью вращения. Момент импульса тела. Момент инерции. Теорема Штейнера. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела.</p>	2/8/2/1
<p><b>3. Релятивистская механика.</b>                      Принцип относительности и преобразования Галилея. Неинвариантность электромагнитных явлений относительно преобразований Галилея. Постулаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна. Относительность одновременности и преобразования Лоренца. Парадоксы релятивистской кинематики: сокращение длины и замедление времени в движущихся системах отсчета. Релятивистский импульс. Взаимосвязь массы и энергии в СТО. СТО.</p>	4/-/4/1
<p><b>4. Основы термодинамики.</b>                      Термодинамическое равновесие и температура. Квазистатические процессы. Уравнение состояния в термодинамике. Обратимые и необратимые процессы. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Уравнение Майера. Изохорический, изобарический, изотермический, адиабатический процессы в идеальных газах. Второе начало термодинамики. Преобразование теплоты в механическую работу. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия. Энтропия.</p>	4/8/4/1
<p><b>5. Молекулярно-кинетическая теория.</b>                      Давление газа с точки зрения МКТ. Теплоемкость и число степеней свободы молекул газа. Распределение Максвелла для модуля и проекций скорости молекул идеального газа. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла. Распределение Больцмана и барометрическая формула.  <b>6. Элементы физической кинетики.</b>                      Явления переноса. Диффузия, теплопроводность, внутреннее трение.</p>	4/8/4/1
<b>Первый курс. Второй семестр</b>	

<p><b>7. Электростатика.</b> Закон Кулона. Напряженность и потенциал электростатического поля. Теорема Гаусса. Электроёмкость проводников и конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор электрического смещения (электрической индукции). Диэлектрическая проницаемость вещества.</p>	4/4/4/1
<p><b>8. Постоянный электрический ток.</b> Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности для плотности тока. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Закон Джоуля-Ленца. Закон Видемана-Франца. Электродвижущая сила источника тока. Правила Кирхгофа. Ток в металлах, полупроводниках жидкостях и газах.</p>	4/8/4/1
<p><b>9. Магнетизм.</b> Магнитное взаимодействие постоянных токов. Вектор магнитной индукции. Закон Ампера. Сила Лоренца. Движение зарядов в электрических и магнитных полях. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции (закон полного тока). Магнитное поле и магнитный дипольный момент кругового тока. Намагниченность магнетиков. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость. Классификация магнетиков.</p>	5/10/4/1
<p><b>10. Электромагнитная индукция. Уравнения Максвелла.</b> Правило Ленца. Уравнение электро магнитной индукции. Самоиндукция. Индуктивность соленоида. Включение и отключение катушки от источника постоянной ЭДС. Энергия магнитного поля. Система уравнений Максвелла</p>	5/10/4/1
<b>Второй курс. Первый семестр</b>	
<p><b>11. Гармонические колебания.</b> Амплитуда, круговая частота и фаза гармонических колебаний. Сложение колебаний. Векторные диаграммы. Коэффициент затухания. Логарифмический декремент. Добротность. Резонанс. Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Упругие волна. Акустика.</p>	2/-/1/1
<p><b>12. Электрические колебания.</b> Колебательный контур. Колебания в контуре без активного сопротивления. Затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура. Вынужденные электрические колебания. Резонанс. Индуктивное, ёмкостное и реактивное сопротивления. Мощность в цепи переменного тока. Эффективное значение силы тока. Коэффициент мощности.</p>	2/-/1/1
<p><b>13. Волновая оптика.</b> Электромагнитная природа света. Волновое уравнение. Скорость света. <b>Интерференция монохроматических волн.</b> Разность хода. Когерентность. Условия интерференционных максимумов и минимумов. Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины и равного наклона. Просветление оптики. Интерференционные приборы. <b>Дифракция света.</b> Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракционная решетка. Разрешающая способность. <b>Поляризация света.</b> Линейная, круговая и эллиптическая поляризации. Естественный свет. Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Поляризационные приборы. Закон Малюса. Вращение плоскости поляризации в кристаллических телах.</p>	2/8/2/1

<b>14. Взаимодействие света с веществом.</b> Дисперсия света. Электронная теория дисперсии света. Нормальная и аномальная дисперсии. Групповая скорость. Линии поглощения. Закон Бугера. Отражение и преломление свет на границе раздела двух диэлектриков. Рассеяние света.	2/8/8/1
<b>15. Излучение черного тела.</b> Законы Кирхгофа, Стефана – Больцмана, Вина. Формулы Планка, квантовый характер излучения.	2/4/4/1
<b>16. Взаимодействие фотонов с электронами.</b> Внешний фотоэлектрический эффект. Работы А.Г.Столетова. Формула Эйнштейна. Применение фотоэффекта. Эффект Комптона. Давление света. Опыты П. Н. Лебедева.	2/4/8/1
<b>17. Волновые свойства частиц.</b> Гипотеза де Бройля. Опыты Дэвиссона и Джермера. Принцип неопределенности. Уравнение Шредингера. Прохождение частиц через потенциальный барьер..	2/-/4/1
<b>18. Физика атомов.</b> Атомы водорода и щелочных металлов. Спин электрона. Квантовые числа. Принцип Паули.	2/-/4/0,5
<b>19. Атомное ядро. Элементарные частицы.</b> Строение атомного ядра. Радиоактивность, Фундаментальные взаимодействия. Элементарные частицы	2/-/4/0,5
Итого:	54/80/64/18

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов /Москва : Академия, 2008 – 2012 гг.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики /Москва : Академия, 2015 г.
3. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике /Москва.: Физматлит, 2009 г.
4. Савельев И.В. Курс физики, Т. 1 /Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008 г.
5. Савельев И.В. Курс физики, Т. 2. /Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008 г.
6. Савельев И.В. Курс физики, Т. 3 ./Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008 г.
7. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики /Издательство: Книжный мир, 2008г.

### Дополнительная литература

4. Яворский Б.М, Детлаф А.А. Справочник по физике М.: Наука
5. Калашников С.Г. Электричество М.: Наука
6. Трофимова Т.И. Сборник задач по общему курсу физики М.: Наука
7. Савельев И.В. Сборник задач по общему курсу физики, Т. 3 . М.: Наука
8. ред. Подымахин В.Н. Сборник лаб. работ по физике, ч.1. "Механика, молекулярная физика и термодинамика" МВИМУ
9. ред. Подымахин В.Н. Сборник лабораторных работ по физике, ч.2. «Электричество и магнетизм" МГТУ
10. ред. Подымахин В.Н. Сборник лаб. работ по физике. Ч.3. "Волновая оптика, атомная и ядерная физика" МВИМУ
11. ред. Власов А. Б. Метод. указания к лаб. работам по курсу "Электричество и магнетизм", ч.1 МВИМУ
12. ред. Власов А. Б. Метод. указания к лаб. работам по курсу "Электричество и магнетизм", ч.2 МВИМУ
13. Карельская Т.К., Федотов А.В. Математическая обработка результатов измерений и представление экспериментальных данных МГТУ
14. Власов А.Б., Морозов Н.Н. Метод. рекомендации по выполнению лаб. работ по курсу общей физики. МВИМУ



15. Власов А.Б. Методическое пособие по физике для специальности 1809. Разделы: "Кинематика", "Динамика" "Элементы теории поля", "Механика жидкости". МГАРФ
16. Власов А.Б. Метод. пособие по физике для специальности 1809. Разделы: "Молекулярная физика и термодинамика". МВИМУ
17. Власов А.Б., Власова С.В. Лаб. практикум по курсам: "Физика твердого тела", "Физико-химические основы электротехнических материалов МВИМУ
18. Власов А.Б. Метод. рекомендации по самостоятельным занятиям по физике. Раздел "Электростатика". МВИМУ
18. Власов А.Б. Метод. рекомендации по самостоятельным занятиям по физике. Раздел "Постоянный электрический ток". МВИМУ
19. Власов А.Б. Метод. рекомендации по самостоятельным занятиям по физике. Раздел "Магнитное поле". МВИМУ
20. Власов А.Б., Власова С.В. Банк задач для контроля остаточных знаний по физике. МГАРФ
21. Михайлюк А.В. Методические указания к самостоятельной работе по физике для курсантов Морской академии МГТУ, обучающихся по специальности 180402.65 «Судовождение». Часть 1. «Механика, молекулярная физика и термодинамика» МГТУ
22. Шолохов В.С. Никонов О.А Учебно – методическое пособие «Основные принципы классической и квантовой физики» МГПУ
23. Шолохов В.С. Учебно – методическое пособие «Основы специальной теории относительности» МГПУ
24. ред. Ярова О.Ю. Сборник лаб. работ по физике, Часть 1. "Механика, молекулярная физика и термодинамика" Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике для курсантов и студентов 1 курса всех специальностей МГТУ, МГТУ

## **11. Перечень ресурсов информационно - телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. ЭБС «КнигаФонд»,
2. ЭБС «BOOK. ru»,
3. ЭБС «Издательство «ЛАНЬ»,
4. ЭБС IPR books, ООО «ИВИС»
5. <http://www.edu-all.ru>,
6. <http://www.edu.ru>,
7. <http://www.elibrary.ru>,
8. <http://www.mgounb.ru>,
9. <http://www.rsl.ru>.

## **СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **РАЗДЕЛ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.**

#### **Предмет физики, классическая и современная механика.**

При изучении данной темы студент должен понять роль физики, как науки. Необходимо четко сформировать представление о предмете, задачах и методах физики. В ходе проработки этой темы студент должен понять гипотезы и эксперимента, в согласии которых рождается теория. Необходимо понимать связь физики и других естественно-технических наук.

Студент должен знать размерности фундаментальных физических величин и уметь выводить размерности величин, производных от них.

Студент также должен четко знать предмет изучения механики, как раздела физики, принцип деления механики на разделы, основные физические модели.

#### *План изучения темы:*

1. Предмет, задачи и методы физики, общая структура курса физики.
2. Опыт, гипотеза, теория.
3. Роль эксперимента в физике.
4. Роль математики в физике.
5. Физика и естествознание (география, астрономия, геология, химия, биология).
6. Роль физики в развитии техники и роль техники в развитии физики.

7. Физические модели.
8. Компьютеры в современной физике.
9. Роль физики в образовании.
10. Роль измерения в физике. Размерности физических величин. Система СИ.
11. Предмет и задача механики.
12. Кинематика, статика, динамика, классическая и квантовая механика, релятивистская механика.
13. Основные физические модели: частица (материальная точка), система частиц, абсолютно твёрдое тело, сплошная среда.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

1. Что изучает физика?
2. Какова структура курса физики ?
3. В чем отличие гипотезы от теории ?
4. Какова роль эксперимента в физике ?
5. В чем отличие от наблюдения и эксперимента ?
6. Какие основные модели в физике вы знаете ?
7. Что такое измерение физической величины ?
8. Как определяется размерность фундаментальных величин и производных от них ?
9. Что является предметом изучения механики ?
10. Каков основной принцип разделения механики на разделы ?
11. Сформулируйте понятия об основных физических моделях в механике ?

### **Кинематика.**

При изучении данной темы студент должен четко уяснить задачи кинематики, как раздела механики. Студент должен обладать навыками описания механического движения, и уметь выводить физические величины, характеризующие данное движение. Именно в этом разделе студент впервые знакомится с правилами применения дифференциально-интегрального анализа к описанию переменных во времени и в пространстве физических процессов.

*План изучения темы:*

1. Системы отсчёта.
2. Кинематика материальной точки.
3. Координатный и векторный способы описания положения материальной точки.
4. Скалярные и векторные физические величины.
5. Радиус-вектор. Траектория. Вектор перемещения.
6. Скорость.
7. Ускорение.
8. О смысле производной и интеграла в приложении к физическим задачам.
9. Поступательное и вращательное движения.
10. Нормальное и тангенциальное ускорения. Круг кривизны.
11. Угловая скорость. Центростремительное ускорение. Угловое ускорение.
12. Связь линейных и угловых кинематических параметров.
13. Элементы кинематики абсолютно твёрдого тела.
14. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела.
15. Векторное произведение.
16. Формула Эйлера.
17. Степени свободы тела. Углы Эйлера.
18. Сложные движения. Относительное, переносное и абсолютное движение.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

Вопросы и задания для самопроверки:

Контрольные вопросы

1. Что называется материальной точкой? Почему в механике вводят такую модель?
2. Что такое система отсчета?
3. Что такое вектор перемещения? Всегда ли модуль вектора перемещения равен отрезку пути, пройденному точкой?
4. Какое движение называется поступательным? вращательным?
5. Дать определения векторов средней скорости и среднего ускорения, мгновенной скорости и мгновенного ускорения. Каковы их направления?
6. Что характеризует тангенциальная составляющая ускорения? Нормальная составляющая ускорения? Каковы их модули?
7. Возможны ли движения, при которых отсутствует нормальное ускорение? Тангенциальное ускорение? Приведите примеры.
8. Что называется угловой скоростью? Угловым ускорением? Как определяются их направления?
9. Какова связь между линейными и угловыми величинами?

Задачи

1. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $C = 0,1 \text{ м/с}^2$ ,  $D = 0,03 \text{ м/с}^3$ ). Определить: 1) через какое время после начала движения ускорение  $a$  тела будет равно  $2 \text{ м/с}^2$ ; 2) среднее ускорение  $\langle a \rangle$  тела за этот промежуток времени. [1)  $10 \text{ с}$ ; 2)  $1,1 \text{ м/с}^2$ ]
2. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить угол, под которым тело брошено к горизонту, если максимальная высота подъема тела равна  $1/4$  дальности его полета. [ $45^\circ$ ]
3. Колесо радиуса  $R = 0,1 \text{ м}$  вращается так, что зависимость угловой скорости от времени задается уравнением  $\omega = 2At + 5Bt^4$  ( $A=2 \text{ рад/с}^2$  и  $B=1 \text{ рад/с}^5$ ). Определить полное ускорение точек обода колеса через  $1 \text{ с}$  после начала вращения и число оборотов, сделанных колесом за это время. [ $a = 8,5 \text{ м/с}^2$ ;  $N=0,48$ ]
4. Нормальное ускорение точки, движущейся по окружности радиуса  $R = 4 \text{ м}$ , задается уравнением  $a = A + Bt + Ct^2$  ( $A = 1 \text{ м/с}^2$ ,  $B = 6 \text{ м/с}^3$ ,  $C = 3 \text{ м/с}^4$ ). Определить: 1) тангенциальное ускорение точки; 2) путь, пройденный точкой за время  $t=5 \text{ с}$  после начала движения; 3) полное ускорение для момента времени  $t=1 \text{ с}$ . [1)  $6 \text{ м/с}^2$ ; 2)  $85 \text{ м}$ ; 3)  $6,32 \text{ м/с}^2$ ]
5. Частота вращения колеса при равнозамедленном движении за  $t = 1 \text{ мин}$  уменьшилась от  $300$  до  $180 \text{ мин}^{-1}$ . Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время. [1)  $0,21 \text{ рад/с}^2$ ; 2)  $360$ ]
6. Диск радиусом  $R=10 \text{ см}$  вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $B=1 \text{ рад/с}$ ,  $C=1 \text{ рад/с}^2$ ,  $D = 1 \text{ рад/с}^3$ ). Определить для точек на ободе колеса к концу второй секунды после начала движения: 1) тангенциальное ускорение  $a_t$ ; 2) нормальное ускорение  $a_n$ ; 3) полное ускорение  $a$ . [1)  $0,14 \text{ м/с}^2$ ; 2)  $28,9 \text{ м/с}^2$ ; 3)  $28,9 \text{ м/с}^2$ ]

Материальная точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $\vec{V}$ . На рис. 1 показан график зависимости проекции скорости  $V_\tau$  от времени ( $\vec{e}_\tau$  – единичный вектор положительного направления,  $V_\tau$  – проекция  $\vec{V}$  на это направление). Какое при этом вектор **полного ускорения** на рис.2 имеет направление ?

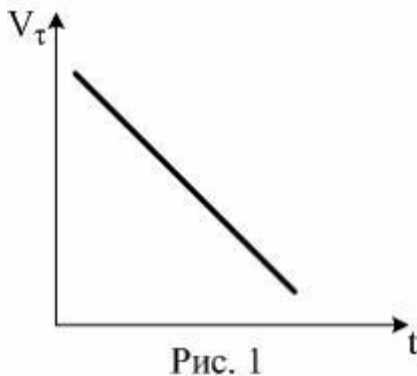


Рис. 1

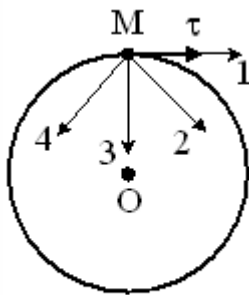


Рис. 2

### Динамика материальной точки.

При изучении данной темы студент должен четко уяснить задачи динамики, как раздела механики. Студент должен понимать, что причиной любого механического движения является действие силы, которая в свою очередь является причиной возникновения ускорения тела. Вся механика опирается на три основных закона Ньютона, лежащие в основе всей классической механики, изучающей движения тел со скоростями много меньше скорости распространения света в вакууме. Студент должен знать фундаментальные силы в механике, уметь описывать их действие. В этом разделе реперной является тема гравитационного поля. Необходимо четко уяснить, что любое силовое поле – это, прежде всего действие или взаимодействие на материю, описываемое через какой-либо закон. Если речь идет о гравитационном поле, тогда таким законом является закон Всемирного тяготения. Все поля описываются в принципе одинаково: через задание для каждой точки пространства векторной величины – силовой характеристики поля, и скалярной – энергетической.

#### План изучения темы:

1. Основная задача механики.
2. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта.
3. Принцип относительности Галилея.
4. Масса и импульс тела.
5. Понятие силы, виды сил, фундаментальные силы.
6. Законы Ньютона.
7. Уравнение движения.
8. Закон сохранения импульса для замкнутых систем.
9. Закон всемирного тяготения.
10. Гравитационное поле.
11. Потенциал гравитационного поля.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

#### Вопросы и задания для самопроверки:

##### Контрольные вопросы

1. Какая система отсчета называется инерциальной? Почему система отсчета, связанная с Землей строго говоря, неинерциальна?
2. Что такое сила? Как ее можно охарактеризовать?
3. Является ли первый закон Ньютона следствием второго закона? Почему?
4. Сформулировав три закона Ньютона, покажите, какова взаимосвязь между этими законами.
5. В чем заключается принцип независимости действия сил?

6. Какова физическая сущность трения? В чем отличие сухого трения от жидкого? Какие виды внешнего (сухого) трения Вы знаете?

7. Что называется механической системой? Какие системы являются замкнутыми?

8. В чем заключается закон сохранения импульса? В каких системах он выполняется?

9. Каким свойством пространства обуславливается справедливость закона сохранения импульса?

10. Что называется центром масс системы материальных точек? Как движется центр масс замкнутой системы?

#### Задачи

1. По наклонной плоскости с углом наклона к горизонту, равным  $30^\circ$ , скользит тело. Определить скорость тела в конце третьей секунды от начала скольжения, если коэффициент трения 0,15. [10,9 м/с]

2. Самолет описывает петлю Нестерова радиусом 80 м. Какова должна быть наименьшая скорость самолета, чтобы летчик не оторвался от сиденья в верхней части петли? [28 м/с]

3. Блок укреплен на вершине двух наклонных плоскостей, составляющих с горизонтом углы  $\alpha = 30^\circ$  и  $\beta = 45^\circ$ . Гири равной массы ( $m = 2$  кг) соединены нитью, перекинутой через блок. Считая нить и блок невесомыми, принимая коэффициенты трения гири о наклонные плоскости равными  $f = 0,1$  и пренебрегая трением в блоке, определить: 1) ускорение, с которым движутся гири; 2) силу натяжения нити. [1)  $0,24$  м/с<sup>2</sup>; 2) 12 Н]

4. На железнодорожной платформе установлена безоткатная пушка, из которой производится выстрел вдоль полотна под углом  $45^\circ$  к горизонту. Масса платформы с пушкой:  $M = 20$  т, масса снаряда  $m = 10$  кг, коэффициент трения между колесами платформы и рельсами  $k = 0,002$ . Определить скорость снаряда, если после выстрела платформа откатилась на расстояние 3 м. [ $v = 970$  м/с]

5. На катере массой  $m = 5$  т находится водомет, выбрасывающий  $\mu = 25$  кг/с воды со скоростью  $v = 7$  м/с относительно катера назад. Пренебрегая сопротивлением движению катера, определить: 1) скорость катера через 3 мин после начала движения; 2) предельно возможную скорость катера. [1) 6,6 м/с; 2) 7 м/с]

#### **Работа, мощность, энергия.**

При изучении данной темы студент должен четко уяснить такие фундаментальные понятия как работа силы, мощность и энергия. Существует два вида механической энергии: кинетическая и потенциальная. Первый вид энергии присущ движущимся телам, второй – телам, взаимодействующих с источником силового поля (в данном разделе – гравитационного). Студент должен понимать закон сохранения полной механической энергии и уметь его применять на практике.

#### *План изучения темы:*

1. Работа силы.
2. Мощность.
3. Кинетическая энергия.
4. Работа в потенциальном поле.

5. Консервативные силы.
6. Потенциальная энергия.
7. Виды потенциальной энергии (энергия во внешнем поле, энергия пружины).
8. Закон сохранения механической энергии в потенциальном поле.
9. Сила упругой деформации. Закон Гука.
10. Неконсервативные силы.
11. Общефизический закон сохранения энергии.
12. Упругое и неупругое соударение тел.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

#### Контрольные вопросы

1. В чем различие между понятиями энергии и работы? Как найти работу переменной силы?
2. Какую работу совершает равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равномерно движущемуся по окружности?
3. Что такое мощность? Вывести ее формулу.
4. Дайте определения и выведите формулы для известных вам видов механической энергии.
5. Какова связь между силой и потенциальной энергией?
6. Почему изменение потенциальной энергии обусловлено только работой консервативных сил?
7. В чем заключается закон сохранения механической энергии? Для каких систем он выполняется?
8. Необходимо ли условие замкнутости системы для выполнения закона сохранения механической энергии?
9. В чем физическая сущность закона сохранения и превращения энергии? Почему он является фундаментальным законом природы?
10. Каким свойством времени обуславливается справедливость закона сохранения механической энергии?
11. Что такое потенциальная яма? потенциальный барьер?
12. Какие заключения о характере движения тел можно сделать из анализа потенциальных кривых?
13. Как охарактеризовать положения устойчивого и неустойчивого равновесия? В чем их различие?
14. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого?

#### Задачи

1. Определить: 1) работу поднятия груза по наклонной плоскости; 2) среднюю и 3) максимальную мощности подъемного устройства, если масса груза 10 кг, длина наклонной плоскости 2 м, угол ее наклона к горизонту  $45^\circ$ , коэффициент трения 0,1 и время подъема 2 с. [1) 170 Дж; 2) 85 Вт; 3) 173 Вт]
2. С башни высотой 35 м горизонтально брошен камень массой 0,3 кг. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) скорость, с которой брошен камень, если через 1 с после начала движения его кинетическая энергия 60 Дж; 2) потенциальную энергию камня через 1 с после начала движения. [ 1) 17,4 м/с; 2) 88,6 Дж]
3. Пренебрегая трением, определить наименьшую высоту, с которой должна скатываться тележка с человеком по желобу, переходящему в петлю радиусом 10 м, чтобы она сделала полную петлю и не выпала из желоба. [25 м]

4. Пуля массой 10 г, летевшая горизонтально со скоростью  $v = 500$  м/с, попадает в баллистический маятник длиной 1 м и массой  $M = 5$  кг и застревает в нем. Определить угол отклонения маятника. [ $18^\circ 30'$ ]

5. Тело массой  $m = 4$  кг движется со скоростью  $U = 3$  м/с и ударяется о неподвижное тело такой же массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты выделившееся при ударе. [9 Дж]

#### **Уравнение моментов. Движение в поле центральной силы.**

При изучении данной темы студент должен овладеть такими понятиями как момент силы и момент импульса, понять смысл уравнения моментов и научиться применять его на практике.

*План изучения темы:*

1. Момент силы.
2. Момент импульса.
3. Уравнение моментов.
4. Закон сохранения момента импульса.
5. Момент инерции материальной точки.
6. Движение в поле центральной силы.
7. Движение центра масс.
8. Задача двух тел.
9. Законы Кеплера.
10. Космические скорости.
11. Законы сохранения и симметрия пространства и времени.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое момент силы?
- 2) Что такое момента импульса?
- 3) Как связаны моменты силы и импульса? Каков физический смысл уравнения моментов?
- 4) Сформулируйте закон сохранения момента импульса? В каких системах выполняется этот закон? Приведите примеры?
- 5) Какие силы называют потенциальными?
- 6) Что такое консервативные и неконсервативные силы?
- 7) Что такое центральное поле сил? Какое поле называется однородным?
- 8) Каковы общие закономерности движения частицы в центральном силовом консервативном поле?
- 9) В чем заключается проблема двух тел?
- 10) Сформулируйте законы Кеплера?
- 11) Выведите первую, вторую и третью космические скорости? Выведите уравнения траекторий движений тел, движущихся с этими скоростями.

#### **Неинерциальные системы отсчета.**

При изучении данной темы студент должен понять, что фундаментальные силы, изученные им ранее, являются по определению ньютоновскими, т.е. «за плечами» этих сил стоят объекты, действующие на данное тело. Силы инерции, учитываемые при переходе в неинерциальные системы отсчета, не являются ньютоновскими.

*План изучения темы:*

1. Описание движений в неинерциальных системах отсчёта.
2. Силы инерции. Центробежная сила, сила Кориолиса.

### 3. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие системы называются инерциальными и неинерциальными ?
- 2) В чем состоит описание движения в неинерциальных системах отсчета ?
- 3) В каком случае на тело действует сила инерции поступательного движения ?
- 4) В каком случае на тело действует центробежная сила ? От каких параметров тела и его движения и как зависит центробежная сила ?
- 5) В каком случае на тело действует сила Кориолиса? От каких параметров тела и его движения и как зависит сила Кориолиса?
- 6) Какие природные явления подтверждают действие силы Кориолиса ?

### **Механика твердого тела.**

При изучении данной темы студент должен четко уяснить способ описания вращательного движения абсолютно твердых тел. Если тело при своем движении испытывает деформации, которыми нельзя пренебречь, тогда необходимо учитывать упругие свойства тела.

Студент должен понимать разницу между упругими и неупругими деформациями и знать, что любое упруго деформированное тело накапливает в себе потенциальную энергию, которая при исчезновении деформирующих сил, будет затрачиваться на восстановление тела.

*План изучения темы:*

1. Движение твердого тела.
2. Законы сохранения импульса и момента импульса при движении твёрдого тела.
3. Динамика вращательного движения, моменты инерции твёрдого тела.
4. Тензор инерции. Главные оси инерции.
5. Кинетическая энергия вращательного движения.
6. Уравнения Эйлера.
7. Теорема Штейнера.
8. Применение законов вращательного движения. Гироскоп.
9. Элементы теории упругости.
10. Упругие свойства тел, коэффициент упругости.
11. Закон Гука. Модуль Юнга.
12. Энергия деформированного тела.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

**Контрольные вопросы**

1. Что такое момент инерции тела?
2. Какова роль момента инерции во вращательном движении?
3. Какова формула для кинетической энергии тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, и как ее вывести?
4. Что называется моментом силы относительно неподвижной точки? относительно неподвижной оси? Как определяется направление момента силы?
5. Выведите и сформулируйте уравнение динамики вращательного движения твердого тела.
6. Что такое момент импульса материальной точки? твердого тела? Как определяется направление момента импульса?



7. В чем заключается физическая сущность закона сохранения момента импульса? В каких системах он выполняется? Приведите примеры.
8. Каким свойством симметрии пространства обуславливается справедливость закона сохранения момента импульса?
9. Сопоставьте основные уравнения динамики поступательного и вращательного движений, прокомментировав их аналогию.
10. Что такое свободные оси (главные оси инерции)? Какие из них являются устойчивыми?
11. Что такое гироскоп? Каковы его основные свойства?
12. Сформулируйте закон Гука. Когда он справедлив?
13. Дайте объяснение качественной диаграммы напряжений. Что такое пределы пропорциональности, упругости и прочности?
14. Каков физический смысл модуля Юнга?

#### Задачи

1. С одного уровня наклонной плоскости одновременно начинают скатываться без скольжения сплошной цилиндр и шар одинаковых масс и одинаковых радиусов. Определить: 1) отношение скоростей цилиндра и шара на данном уровне; 2) их отношение в данный момент времени. [1) 14/15; 2) 14/15]
2. К ободу однородного сплошного диска радиусом 0,5 м приложена постоянная касательная сила  $F=100$  Н. При вращении диска на него действует момент сил трения  $M=2$  Н·м. Определить массу диска, если известно, что его угловое ускорение  $a$  постоянно и равно  $12 \text{ рад/с}^2$ . [32 кг]
3. Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой 1 кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами 1 кг и 2 кг. Пренебрегая трением в оси блока, определить: 1) ускорение грузов; 2) отношения сил натяжения нити. [1)  $2,8 \text{ м/с}^2$ ; 2) 1,11]
4. Скорость вращения колеса, момент инерции которого  $2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , вращающегося при торможении равномерно, за время 1 мин уменьшилась от 300 об/мин до 180 об/мин. Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) момент  $M$  силы торможения; 3) работу силы торможения. [1) 0,21 рад/с; 2) 0,42 Н·м; 3) 630 Дж]
5. Человек массой 80 кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой  $M=100$  кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой 10 оборотов в минуту, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека точечной массой, определить, с какой частотой будет тогда вращаться платформа. [26 об/мин]
6. Определить относительное удлинение алюминиевого стержня, если при его растяжении затрачена работа 0,21 Дж. Длина стержня 2 м, площадь поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$ , модуль Юнга для алюминия  $E = 69 \text{ ГПа}$ . [0,03]

#### Релятивистская механика.

При изучении данной темы студент должен четко понимать предпосылки создания специальной теории относительности. В электродинамике доказывалось, что предельная скорость распространения материального сигнала равна скорости распространения света в вакууме. Таким образом, переход в другие системы отсчета не должен приводить к тому, что если тело относительно неподвижной системы отсчета двигалось со скоростью света, то относительно подвижной оно будет двигаться с большей скоростью. Поэтому

преобразования Галилея, и связанный с ним классический закон сложения скоростей, не подходят для скоростей, близких к скорости света в вакууме. Преобразования Лоренца удовлетворяют условию инвариантности скорости света. Все остальные выводы являются следствием применения преобразований Лоренца.

*План изучения темы:*

1. Преобразования Галилея.
2. Принцип относительности Эйнштейна.
3. Постоянство скорости света.
4. Преобразования Лоренца для координат и времени.
5. Преобразования скорости.
6. Сокращение длины.
7. Замедление времени.
8. Релятивистский импульс.
9. Релятивистская кинетическая энергия.
10. Энергия покоя.
11. Эквивалентность массы и энергии.
12. Полная релятивистская энергия свободной материальной точки.
13. Законы сохранения импульса и энергии.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

Контрольные вопросы

1. В чем физическая сущность механического принципа относительности?
2. В чем заключается правило сложения скоростей в классической механике?
3. Каковы причины возникновения специальной теории относительности?
4. В чем заключаются основные постулаты специальной теории относительности?
5. Зависит ли от скорости движения системы отсчета скорость тела? скорость света?
6. Запишите и прокомментируйте преобразования Лоренца. При каких условиях они переходят в преобразования Галилея?
7. Какой вывод о пространстве и времени можно сделать на основе преобразований Лоренца?
8. Одновременны ли события в системе  $K'$ , если в системе  $K$  они происходят в одной точке и одновременны? в системе  $K$  события разобщены, но одновременны? Обосновать ответ
9. Какие следствия вытекают из специальной теории относительности для размеров тел и длительности событий в разных системах отсчета? Обосновать ответ.
10. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит 25%?
11. В чем состоит «парадокс близнецов» и как его разрешить?
12. В чем заключается релятивистский закон сложения скоростей? Как показать, что он находится в согласии с постулатами Эйнштейна?

13. Как определяется интервал между событиями? Доказать, что он является инвариантом при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.
14. Какой вид имеет основной закон релятивистской динамики материальной точки? Чем он отличается от основного закона ньютоновской механики?
15. В чем заключается закон сохранения релятивистского импульса? релятивистской массы?
16. Как выражается кинетическая энергия в релятивистской механике? При каком условии релятивистская формула для кинетической энергии переходит в классическую формулу?
17. Сформулируйте и запишите закон взаимосвязи массы и энергии. В чем его физическая сущность? Приведите примеры его экспериментального подтверждения.

#### Задачи

1. Определить собственную длину стержня (длину, измеренную в системе, относительно которой стержень покоится), если в лабораторной системе (системе отсчета, связанной с измерительными приборами) его скорость  $V=0,8c$ , длина  $L=1$  м и угол между ним и направлением движения  $30^\circ$ . [ $L_0=1,53$  м]
2. Собственное время жизни частицы отличается на 1,5% от времени жизни по неподвижным часам. Определить  $\beta = v/c$ . [0,172]
3. Тело с массой покоя 2 кг движется со скоростью 200 Мм/с в системе  $K'$ , которая сама движется относительно системы  $K$  со скоростью 200 Мм/с. Определить: 1) скорость тела относительно системы  $K$ ; 2) его массу в этой системе. [ 1) 277 Мм/с; 2) 5,2 кг]
4. Воспользовавшись тем, что интервал — инвариантная величина по отношению к преобразованиям координат, определить расстояние, которое пролетел л-мезон с момента рождения до распада, если время его жизни в этой системе отсчета  $\Delta t = 5$  мкс, а собственное время жизни (время, отсчитанное по часам, движущимся вместе с телом)  $t = 2,2$  мкс. [1,35 км]
5. Определить скорость, при которой релятивистский импульс частицы превышает ее ньютоновский импульс в пять раз. [0,98 c]
6. Определить скорость, полученную электроном, если он прошел ускоряющую разность потенциалов 1,2 МэВ. [2,86 Мм/с]
7. Определить релятивистский импульс электрона, кинетическая энергия которого 1 ГэВ. [ $5,34 \cdot 10^{-19}$  Н·с]

#### **Колебания и волны.**

При изучении данной темы студент должен знать, что называется колебаниями и волновыми процессами. Студент должен четко уяснить, что волны и колебания любой природы описываются единым образом.

#### *План изучения темы:*

1. Гармоническая сила.

2. Период, амплитуда и фаза колебаний.
3. Маятники.
4. Энергия гармонических колебаний.
5. Сложение колебаний. Биения.
6. Спектр колебаний, понятие о разложении Фурье.
7. Затухающие колебания, автоколебания, вынужденные колебания. Параметрический резонанс.
8. Волновые процессы.
9. Фазовая скорость, длина волны, волновое число, фазовый фронт, волновой вектор.
10. Продольные и поперечные волны.
11. Волновое уравнение.
12. Стоячие волны.
13. Звуковые волны, скорость звука в газах.
14. Эффект Доплера в акустике.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие процессы называются колебательными ?
- 2) Какие колебания называются свободными и вынужденными ?
- 3) Какие колебания называются гармоническими ?
- 4) Что такое период, частота, круговая частота, фаза и амплитуда колебаний ?
- 5) Что такое биение ?
- 6) Какие виды маятников существуют ?
- 7) Выведите дифференциальное уравнение колебаний математического маятника.
- 8) Выведите дифференциальное уравнение колебаний пружинного маятника.
- 9) Выведите дифференциальное уравнение колебаний физического маятника.
- 10) Выведите формулы для периода колебаний математического, пружинного и физического маятников.
- 11) В чем состоит явление резонанса ?
- 12) Охарактеризуйте смысл спектрального разложения.
- 13) Волновое уравнение и смысл его решений. Виды решений для плоских, сферических и цилиндрических волн.
- 14) Монохроматическая волна и ее свойства.
- 15) Фазовая скорость, длина волны, волновое число, фазовый фронт, волновой вектор.
- 16) В чем отличие продольных волн от поперечных ?
- 17) Приведите пример стоячих волн.
- 18) Чем характеризуется звуковая волна ?
- 19) От чего зависит скорость звуковой волны ?
- 20) В чем смысл эффекта Доплера в акустике ?

### **Механика жидкостей и газов.**

При изучении данной темы студент должен четко понимать разницу в описании движений жидкостей и газов. Основным понятием в этой теме является давление в жидкости и газах. Необходимо четко знать, как меняется давление в столбе жидкости и газа.

*План изучения темы:*

1. Свойства жидкостей и газов.
2. Подвижность молекул.
3. Столкновения.
4. Давление.
5. Уравнение состояния.
6. Гидростатика и аэростатика.
7. Уравнение гидростатического равновесия.

8. Барометрическая формула. Атмосферы Земли и планет.
9. Линии тока.
10. Уравнение неразрывности.
11. Закон Бернулли.
12. Роль вязкости. Формула Ньютона.
13. Стационарное течение вязкой жидкости.
14. Формула Пуазейля.
15. Число Рейнольдса.
16. Понятие о турбулентности. Ламинарное и турбулентное течение.

*Рекомендуемая литература:* 1, 4, 7, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 26, 29, 39, 40, 41, 42, 44.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

#### Контрольные вопросы

1. Что такое давление в жидкости? Давление - величина векторная или скалярная? Какова единица давления в СИ?
2. Сформулируйте и поясните законы Паскаля и Архимеда. Что называют линией тока? трубкой тока? Что характерно для установившегося течения жидкости?
3. Каков физический смысл и как вывести уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости? Какой закон выражает уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости? Выведите это уравнение.
4. Как в потоке жидкости измерить статическое давление? динамическое давление? полное давление?
5. Что такое градиент скорости?
6. Каков физический смысл коэффициента динамической вязкости?
7. Какое течение жидкости называется ламинарным? турбулентным? Что характеризует число Рейнольдса?
8. Поясните (с выводом) практическое применение методов Стокса и Пуазейля.
9. Каковы причины возникновения лобового сопротивления тела, движущегося в жидкости? Может ли оно быть равным нулю?

#### Задачи

1. Полый железный шар ( $\rho = 7,87 \text{ г/см}^3$ ) весит в воздухе 5 Н, а в воде ( $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ ) – 3 Н. Пренебрегая выталкивающей силой воздуха, определить объем внутренней полости шара. [ 139 см<sup>3</sup> ]
2. Бак цилиндрической формы площадью основания  $S = 1 \text{ м}^2$  и объемом  $V = 3 \text{ м}^3$  заполнен водой. Пренебрегая вязкостью воды, определить время  $t$ , необходимое для опустошения бака, если на дне бака образовалось круглое отверстие площадью  $S = 10 \text{ см}^2$ . [13 мин]
3. На горизонтальной поверхности стоит цилиндрический сосуд, в боковой поверхности которого имеется отверстие. Поперечное сечение отверстия значительно меньше поперечного сечения самого сосуда. Отверстие расположено на расстоянии 64 см ниже уровня воды в сосуде, который поддерживается постоянным, и на расстоянии

- 25 см от дна сосуда. Пренебрегая вязкостью воды, определить, на каком расстоянии по горизонтали от сосуда падает на поверхность струя, вытекающая из отверстия. [80см]
4. В широком сосуде, наполненном глицерином (плотность  $\rho=1,2 \text{ г/см}^3$ ), падает с установившейся скоростью 5 см/с стеклянный шарик ( $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ) диаметром 1 мм. Определить динамическую вязкость глицерина. [1,6 Па·с]
  5. В боковую поверхность цилиндрического сосуда, установленного на столе, вставлен на высоте 5 см от его дна капилляр внутренним диаметром  $d = 2 \text{ мм}$  и длиной 1 см. В сосуде поддерживается постоянный уровень машинного масла (плотность  $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$  и динамическая вязкость  $\eta=0,1 \text{ Па·с}$ ) на высоте 80 см выше капилляра. Определить, на каком расстоянии по горизонтали от конца капилляра падает на поверхность стола струя масла, вытекающая из отверстия. [ $s=8,9 \text{ см}$ ]

## РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ.

При изучении данной темы студент должен четко уяснить положения молекулярно-кинетической теории веществ и их применение к газам. Студент должен понимать, что называется идеальным газом, внутренней энергией идеального газа. Главным понятием этой темы является температура. Студент должен знать, что температура – это мера кинетического движения молекул, ее измерение возможно только при погружении термометра в среду, температура которой измеряется.

### Основные представления молекулярно-кинетической теории

*План изучения темы:*

1. Макроскопические параметры состояния системы.
2. Внутренняя энергия системы.
3. Давление идеального газа.
4. Температура.
5. Опытные законы идеального газа.
6. Уравнение состояния идеального газа.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

Контрольные вопросы

1. Почему термодинамический и статистический (молекулярно-кинетический) методы исследования макроскопических систем качественно различны и взаимно дополняют друг друга?
2. Что такое термодинамические параметры? Какие термодинамические параметры вам известны?
3. Как объяснить закон Бойля–Мариотта с точки зрения молекулярно-кинетической теории?
4. Какими законами описываются изобарные и изохорные процессы?
5. Каков физический смысл постоянной Авогадро? числа Лошмидта?
6. При некоторых значениях температуры и давления азот количеством вещества 1 моль занимает объем 20 л. Какой объем при этих же условиях займет водород количеством вещества 1 моль?

7. В чем заключается молекулярно-кинетическое толкование давления газа? термодинамической температуры?
8. В чем содержание и какова цель вывода основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов?

#### Задачи

1. Начертить и объяснить графики изотермического и изобарного процессов в координатах  $p$  и  $V$ ,  $p$  и  $T$ ,  $T$  и  $V$ .
2. В сосуде при температуре  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 0,2\text{ МПа}$  содержится смесь газов – кислорода массой 16 г и азота массой 21 г. Определить плотность смеси. [ $2,5\text{ кг/м}^3$ ]

#### Элементы статистической физики

При изучении данной темы студент должен понимать, что все молекулы вещества, в данном случае газа, движутся с разными скоростями и в различных направлениях, т.е. хаотично. Но любой прибор измерения параметров среды, в том числе и органы чувств человека, не способны реагировать на каждую частицу, а усредняют их воздействие.

Студент должен уметь пользоваться распределениями Максвелла и Больцмана для определения усредненных значений параметров частиц газа.

#### План изучения темы:

1. Случайные величины и их описание.
2. Плотность вероятности.
3. Средние значения, флуктуации.
4. Термодинамические параметры.
5. Равновесные состояния и процессы.
6. Максвелловское распределение молекул идеального газа по скоростям.
7. Распределения Больцмана и Максвелла-Больцмана.
8. Макро- и микросостояния. Статистический вес.
9. Энтропия.
10. Необратимые процессы.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

#### Вопросы и задания для самопроверки:

##### Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл функции распределения молекул по скоростям? по энергиям?
2. Как, зная функцию распределения молекул по скоростям, перейти к функции распределения по энергиям?
3. Во сколько раз и как изменится средняя скорость движения молекул при переходе от кислорода к водороду?
4. В чем суть распределения Больцмана?

#### Задачи

1. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет  $0,35\text{ кг/м}^3$ . [ $478\text{ м/с}$ ]

- Используя закон для распределения молекул идеального газа по скоростям, найти закон, выражающий распределение молекул по относительным скоростям .
- Воспользовавшись законом распределения идеального газа по относительным скоростям (см. предыдущую задачу), определить, какая доля молекул кислорода, находящегося при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$ , имеет скорости от 100 до 110 м/с. [0,4 ]
- На какой высоте плотность воздуха в два раза меньше чем его плотность на уровне моря? Считать, что температура воздуха везде одинакова и равна 273 К. [5,5 км]

### **Физическая кинетика. Явления переноса**

При изучении данной темы студент должен понимать суть явлений переноса и уметь описывать с точки зрения физики явления диффузии, теплопроводности и вязкости.

*План изучения темы:*

- Явления переноса, длина свободного пробега, среднее число столкновений.
- Диффузия. Закон Фика.
- Теплопроводность. Закон Фурье.
- Вязкость.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

Контрольные вопросы

- Зависит ли средняя длина свободного пробега молекул от температуры газа? Почему?
- Как изменится средняя длина свободного пробега молекул с увеличением давления?
- В чем сущность явлений переноса? Каковы они и при каких условиях возникают?
- Объяснить физическую сущность законов Фурье? Фика? Ньютона?
- Каков механизм теплопроводности ультраразреженных газов?

Задачи

- Определить среднюю продолжительность свободного пробега молекул водорода при температуре 300 К и давлении 5 кПа. Эффективный диаметр молекул принять равным 0,28 нм. [ 170 нс ]
- Коэффициенты диффузии и внутреннего трения при некоторых условиях равны соответственно  $1,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $8,5 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$ . Определить концентрацию молекул воздуха при этих условиях. [  $1,25 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$  ]

### **Первое начало термодинамики. Изопрцессы в термодинамике**

При изучении данной темы студент должен усвоить такие понятия как термодинамический метод исследования, знать основные термодинамические параметры и их определения. Усвоить понятия внутренней энергии и работы идеального газа. Знать формулировку первого начала термодинамики. При изучении данной темы студенты должны усвоить понятия теплоемкости тела, удельной и молярной, их физический смысл. Усвоить,



от чего зависит теплоемкость идеального газа. Научиться выводить уравнение Майера и понимать его физический смысл, а также уметь формулировать физический смысл молярной газовой постоянной. При изучении данной темы студенты должны научиться применять первое начало термодинамики к расчету различных изопроцессов. Усвоить, что такое адиабатический и политропический процессы. Знать и уметь на основании первого начала термодинамики получать их уравнения.

*План изучения темы:*

1. Основные понятия термодинамики.
2. Первое начало термодинамики.
3. Работа расширения газа.
4. Теплоёмкости идеального газа.
5. Изохорный, изобарный, изотермический, адиабатический процессы.
6. Уравнение политропы.
7. Работа при различных изопроцессах.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое внутренняя энергия ?
- 2) Что такое количество степеней свободы молекулы ?
- 3) Что такое количество теплоты, передаваемое газу ?
- 4) В чем заключается работа газа и чему она равна ?
- 5) Первое начало термодинамики. В чем его смысл ?
- 6) Запишите первое начало термодинамики в применении к изопроцессам.
- 7) Что такое теплоемкость газа ?
- 8) Выведите формулу для определения теплоемкости газа при постоянном давлении и при постоянном объеме ?
- 9) Какова связь между теплоемкостями газа при постоянных давлении и объеме ?
- 10) Каков физический смысл универсальной газовой постоянной ?
- 11) Что называется адиабатическим процессом ?
- 12) Выведите уравнение, описывающее адиабатические процессы.
- 13) Что такое политропические процессы ?

### **Термодинамика обратимых и необратимых круговых процессов. Энтропия.**

При изучении данной темы студенты должны усвоить, что такое прямой и обратный цикл, чем они отличаются. Знать, в чем суть работы тепловой машины и холодильной установки, каковы их КПД. Понимать разницу между обратимыми и необратимыми процессами.

При изучении данной темы студент должен уметь формулировать второе начало термодинамики. Знать, что такое вечный двигатель второго рода, а также какие процессы запрещает второе начало термодинамики. Различать термодинамическое и статистическое определения энтропии, и знать какой их физический смысл. Уметь находить изменение энтропии в различных изопроцессах.

*План изучения темы:*

1. Диаграмма состояния.
2. Обратимые и необратимые круговые процессы.
3. Прямой и обратный циклы в тепловой машине.
4. Второе начало термодинамики.

5. КПД тепловой машины.
6. Цикл Карно. Теорема Карно.
7. Приведённая теплота. Теорема Нернста.
8. Статистическое обоснование второго начала термодинамики.
9. Связь энтропии с термодинамической вероятностью.
10. Закон возрастания энтропии.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что называется обратимыми и необратимыми процессами ? Приведите примеры.
- 2) Что называется тепловой машиной ?
- 3) Опишите прямой и обратный циклы в тепловой машине.
- 4) Сформулируйте второе начало термодинамики.
- 5) Чему равно КПД тепловой машины ?
- 6) Что называется циклом Карно ?
- 7) Докажите и сформулируйте теорему Карно.
- 8) Что такое энтропия ? В чем она измеряется ? Каков ее физический смысл ?
- 9) Сформулируйте закон возрастания энтропии и приведите примеры.
- 10) Выведите изменение энтропии при плавлении, кристаллизации, испарении и конденсации веществ.
- 11) Выведите изменение энтропии при изохорном, изобарном, изотермическом и адиабатическом процессах в газах.

### **Физика реальных газов и жидкостей.**

Изучая данную тему, студент должен научиться понимать, в каких случаях применима модель идеального газа, а в каких нет. Должен знать, каковы свойства реальных газов. Знать, относится ван-дер-ваальсовский газ к реальным газам или нет. Понимать физический смысл поправок Ван-дер-Ваальса. При изучении данной темы студент должен изучить свойства жидкостей, выяснить механизм возникновения поверхностного натяжения и дать его количественную характеристику. Рассмотреть условия равновесия на границе раздела между средами, капиллярные явления и свойства поверхностно-активных веществ.

*План изучения темы:*

1. Силы и энергия межмолекулярного взаимодействия.
2. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
3. Изотермы Ван-дер-Ваальса и их анализ.
4. Критическое состояние.
5. Эффект Джоуля-Томсона.
6. Внутренняя энергия реального газа.
7. Механические и термодинамические свойства жидкостей.
8. Поверхностное натяжение.
9. Формула Лапласа.
10. Явления капиллярности и смачивания.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Чем пренебрегается в идеальном газе ?
- 2) Напишите уравнение Ван-дер-Ваальса, описывающее состояние реальных газов.
- 3) Постройте схематически изотермы Ван-дер-Ваальса и проанализируйте их ?
- 4) В чем заключается эффект Джоуля-Томсона ?
- 5) Определите внутреннюю энергию реального газа.

- 6) Что такое поверхностное натяжение жидкостей ? Приведите примеры.
- 7) В чем заключаются явления капиллярности ? Как на явление капиллярности влияет смачивание ?
- 8) Приведите примеры реализации капиллярных явлений в природе.
- 9) Получите формулу Лапласа для давления под искривленной поверхностью жидкости.
- 10) От чего зависит высота подъема жидкости в капилляре?

### **Твёрдые (кристаллические) тела и их свойства**

Изучая данную тему, студент должен усвоить, чем отличается строение твердых тел (кристаллов) от жидкостей и газов. Изучить строение твердых тел, классификацию кристаллической решетки. Обратить внимание на различные типы дефектов кристаллов и их влияние на свойства твердых тел. Изучить классическую теорию теплоемкости твердого тела и границы ее применимости.

*План изучения темы:*

1. Ближний и дальний порядок в расположении атомов.
2. Типы кристаллических решёток.
3. Дефекты в кристаллах.
4. Теплоёмкость кристаллов.
5. Закон Дюлонга и Пти.
6. Жидкие кристаллы.
7. Аморфные твёрдые тела.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Опишите строение твердых, жидких и газообразных веществ.
- 2) Какие существуют типы кристаллических решеток и чем они характеризуются ?
- 3) Какие существуют дефекты и к чему они могут приводить ?
- 4) Как определить теплоемкость кристаллов ?
- 5) Сформулируйте закон Дюлонга и Пти. В каких случаях этот закон выполняется, а в каких нет ?
- 6) Что такое жидкие кристаллы ? Каковы их применения в технике ?
- 7) Что называется аморфными телами ? Приведите примеры.

### **Фазовые равновесия и превращения.**

При изучении данной темы студент должен усвоить, что такое фаза, как происходит переход из одной фазы в другую. Студент должен изучить виды фазовых переходов и их свойства.

*План изучения темы:*

1. Пересыщенный пар и перегретая жидкость.
2. Плавление и кристаллизация.
3. Фазовые переходы 1 и 2 рода.
4. Уравнение Клайперона-Клаузиуса, тройная точка, диаграмма состояния.

*Рекомендуемая литература:* 5, 9, 11, 15, 21, 23, 25, 26, 30, 32, 39, 46, 48, 50, 51.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Насыщенный пар ?
- 2) Опишите процесс плавления и кристаллизации ?
- 3) Сформулируйте понятия фазовых переходов 1 и 2 рода. Приведите примеры.
- 4) Напишите уравнение Клайперона-Клаузиуса. В чем его смысл ?
- 5) Приведите пример диаграммы состояний. Опишите ее.

### РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

#### Электростатическое поле

Изучая данную тему, студент должен усвоить, что такое элементарный электрический заряд, из чего складывается заряд атомов, молекул и элементарных частиц, Изучить свойства электрического заряда. Изучить методы определения величины элементарного электрического заряда. При изучении данной темы студент должен усвоить, какая физическая величина является силовой характеристикой электростатического поля. Должен знать формулировку закона Кулона и уметь записывать его в векторном и скалярном виде. Должен знать, как графически изображается электростатическое поле и что является его источником.

#### План изучения темы:

1. Электрический заряд.
2. Закон Кулона.
3. Закон сохранения заряда.
4. Электрическое поле.
5. Принцип суперпозиции полей.
6. Электрический диполь.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

#### Вопросы и задания для самопроверки:

- 1) Что такое электрический заряд и каковы его свойства?
- 2) Что подразумевается под понятием «квантование» электрического заряда?
- 3) Сформулируйте закон сохранения электрического заряда
- 4) Какова структура распределения электрического заряда в протоне и нейтроне?
- 5) Из чего складывается заряд атомов, молекул и макроскопических объектов?
- 6) Сформулируйте закон Кулона и покажите направление силы Кулона в случае взаимодействия одноименных и разноименных точечных электрических зарядов.
- 7) Что является силовой характеристикой электростатического поля, в каких единицах измеряется?
- 8) Что является источников электростатического поля?
- 9) Покажите направление линий напряженности электростатических полей, создаваемых положительным и отрицательным электрическим зарядами.
- 10) Сформулируйте принцип суперпозиции для дискретно и непрерывно распределенных зарядов.
- 11) Получите формулу напряженности поля бесконечной заряженной нити.

#### Теорема Гаусса для электростатического поля и её применение

Изучая данную тему, студент должен усвоить понятие потока вектора напряженности электростатического поля. Знать теорему Остроградского-Гаусса в интегральной и дифференциальной форме и уметь ее применять к расчету электростатических полей.

#### План изучения темы:

1. Поток вектора электростатического поля.
2. Теорема Гаусса-Остроградского.
3. Теорема Гаусса для электростатического поля.
4. Поля бесконечной однородно заряженной плоскости, цилиндрической и сферической поверхностей, плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов.
5. Поле объёмно-заряженного шара.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое поток вектора напряженности?
- 2) Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса. Запишите ее в интегральной и дифференциальной форме.
- 3) Используя теорему Остроградского-Гаусса найдите напряженность электростатического поля:
  - равномерно заряженной бесконечной плоскости,
  - двух бесконечных параллельных разноименно заряженных плоскостей,
  - равномерно заряженной сферической поверхности,
  - равномерно заряженного бесконечного цилиндра.
- 4) Точечный заряд  $+q$  находится в центре сферической поверхности. Если добавить заряд  $+q$  за пределами сферы, то поток вектора напряженности электростатического поля  $\vec{E}$  через поверхность сферы...  
Варианты ответов:
  1. увеличится
  2. уменьшится
  3. не изменится

## **Потенциал и работа электростатического поля**

Изучая данную тему, студент должен усвоить такие физические величины, как энергия и потенциал электростатического поля. Научиться определять энергию и потенциал системы дискретно и непрерывно распределенных электрических зарядов. Знать формулы, связывающие силовые и энергетические характеристики электростатического поля и уметь объяснить их физический смысл.

Изучая данную тему, студент должен повторить понятие элементарной работы, работы силы. Уметь находить работу сил электростатического поля по перемещению точечного заряда. Усвоить, тот факт, что электростатическое поле является потенциальным. Знать, почему работа сил электростатического поля по замкнутому контуру равна нулю. Усвоить понятие циркуляции и ротора вектора напряженности электростатического поля. Знать теорему о циркуляции вектора напряженности электростатического поля в интегральной и дифференциальной форме. Понимать, почему линии напряженности электростатического поля разомкнутые.

*План изучения темы:*

1. Циркуляция вектора электростатического поля.
2. Теорема Стокса.
3. Потенциал электростатического поля.
4. Работа электростатического поля по перемещению заряда.
5. Потенциальная энергия заряда в электростатическом поле.
6. Энергия взаимодействия системы электрических зарядов.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Используя определение работы силы, получите выражение для работы сил электростатического поля по перемещению единичного положительного заряда.
- 2) Чему равна работа сил электростатического поля по замкнутому контуру и почему?
- 3) Почему электростатическое поле называют потенциальным?
- 4) Чему равны циркуляция и ротор вектора напряженности электростатического поля?
- 5) Сформулируйте теорему о циркуляции вектора напряженности электростатического поля.
- 6) Почему линии напряженности электростатического поля разомкнуты?

- 1) Какими свойствами обладает потенциал?
- 2) Что можно сказать о физическом смысле потенциала в рамках электростатики?
- 3) Какой физический смысл имеет разность потенциалов?
- 4) Какие физические обстоятельства обуславливают возможность нормировки потенциала?
- 5) Какие нормировки наиболее употребительны и когда они целесообразны?
- 6) Что такое эквипотенциальная поверхность?
- 7) Запишите принцип суперпозиции для потенциала.
- 8) Как связаны потенциал и напряженность электростатического поля?
- 9) Найдите потенциал по напряженности поля:
  - равномерно заряженной бесконечной плоскости;
  - равномерно заряженной сферической поверхности.

## Проводники в электростатическом поле

При изучении данной темы студент должен уяснить, что такое проводники, каковы особенности их строения. Студент должен четко представлять себе как действует внешнее электрическое поле на проводник, т.е. понимать явление возникновения индуцированного заряда на поверхности проводника. Также студенту необходимо уяснить, что происходит с внешним электрическим полем вблизи поверхности проводника. Необходимо иметь представление о том, как проводники могут накапливать электрический заряд и как можно повысить их емкость. Знать, что собой представляют конденсаторы, какой формы они бывают и почему. Уметь находить электроемкость конденсаторов различной формы и батареи конденсаторов.

*План изучения темы:*

1. Идеальный проводник.
2. Электрические поля внутри и на поверхности проводника и на границе проводник-вакуум.
3. Электроёмкость.
4. Ёмкость заряженного шара.
5. Ёмкость конденсаторов.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Как действует внешнее электрическое поле на проводник ?
- 2) Как действует проводник на внешнее электрическое поле ?
- 3) Что такое электрическая емкость, каковы ее единицы измерения?
- 4) Как найти электроемкость уединенного проводника и от чего она зависит?
- 5) Что такое конденсатор, каковы его функции?
- 6) Какой формы бывают обкладки конденсатора и почему?
- 7) Получите формулы электроемкости:
  - a. плоского конденсатора;
  - b. сферического конденсатора;
  - c. цилиндрического конденсатора;
  - d. батареи конденсаторов, соединенных последовательно;
  - e. батареи конденсаторов, соединенных параллельно.

## Диэлектрики в электростатическом поле

При изучении электрического поля в диэлектриках следует представлять механизм поляризации полярных и неполярных диэлектриков. Усвоить, что такое электрический диполь и как ведет себя диполь в однородных и неоднородных электрических полях. Знать

такое физическое понятие, как поляризованность и как связан вектор поляризованности с напряженностью электростатического поля. Усвоить физический смысл диэлектрической проницаемости и восприимчивости среды. Изучая данную тему, студент должен усвоить такое физическое понятие, как вектор электрического смещения, знать преимущество вектора электрического смещения перед вектором напряженности для описания электростатического поля в неоднородных диэлектриках. Должен знать, как ведут себя силовые линии электрического поля на границе раздела «диэлектрик – диэлектрик», «проводник – диэлектрик». Усвоить теорему Остроградского-Гаусса для вектора электрического смещения и уметь ее применять для расчета электростатических полей при наличии диэлектрика.

*План изучения темы:*

1. Свободные и связанные заряды в диэлектрике.
2. Дипольный момент молекулы.
3. Потенциальная энергия молекулы во внешнем электрическом поле.
4. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекулы.
5. Вектор поляризации.
6. Диэлектрическая восприимчивость.
7. Электрическое поле внутри диэлектрика.
8. Электрическое смещение (индукция).
9. Диэлектрическая проницаемость.
10. Электрическое поле стороннего точечного заряда в диэлектрике.
11. Электрическое поле в плоском конденсаторе.
12. Условия на границе двух диэлектриков.
13. Ёмкость конденсатора с диэлектриком.
14. Сегнетоэлектрики.
15. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 8) Что такое электрический диполь?
- 9) Что такое электрический дипольный момент?
- 10) Как ведет себя электрический диполь в однородных и неоднородных электрических полях?
- 11) Каковы особенности поля электрического диполя?
- 12) Что такое диэлектрик?
- 13) Какие типы диэлектриков вы знаете?
- 14) Что такое вектор поляризованности?
- 15) Как влияет наличие диэлектрика на электростатическое поле?
- 16) Что такое связанные заряды и как они возникают?
- 17) Сформулируйте физический смысл диэлектрической проницаемости среды.
- 18) Что такое вектор электрического смещения?
- 19) Получите выражение теоремы Остроградского-Гаусса для вектора электрического смещения в интегральной и дифференциальной форме.
- 20) Запишите граничные условия для нормальных и тангенциальных составляющих векторов напряженности и электрического смещения.
- 21) В чем заключается метод изображений?
- 22) Запишите и поясните уравнение Пуассона.

## **Энергия электростатического поля**

При изучении темы, студент должен усвоить такие физические понятия, как энергия электрического поля. Знать, что энергия электрического поля накапливается в конденсаторах

при их зарядке. Уметь находить энергию электрического поля в конденсаторе и в пространстве, где электрическое поле существует.

*План изучения темы:*

1. Энергия заряженного конденсатора.
2. Энергия электростатического поля в диэлектрике и её объёмная плотность.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Чему равна энергия электрического поля в конденсаторе ?
- 2) Чему равна энергия электрического поля в диэлектрике ?
- 3) Выведите формулу для определения энергии электрического поля, созданного однородно объёмно заряженного шара радиусом  $R$ .

## **Постоянный электрический ток**

Изучение темы «Постоянный электрический ток» следует начать с основных понятий, таких как электрический ток, сила тока, плотность тока. Усвоить, что является носителями электрического тока. Каковы условия его существования. Знать формулировки закона Ома для в интегральной и дифференциальной формах. Усвоить понятие электрического сопротивления и от чего оно зависит. Знать классическую электронную теорию проводимости металлов, на ее основе рассмотреть законы Ома и Джоуля-Ленца. Четко разграничить такие понятия, как разность потенциалов, электродвижущая сила и электрическое напряжение. Сторонние силы. Электродвижущая сила и напряжение.

*План изучения темы:*

1. Электрический ток.
2. Сила тока.
3. Плотность тока.
4. Электродвижущая сила.
5. Падение напряжения на участке цепи.
6. Закон Ома.
7. Сопротивление участка цепи.
8. Удельное сопротивление.
9. Проводимость.
10. Дифференциальная форма закона Ома.
11. Законы Кирхгофа.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие виды электрического тока узнаете? Дайте определения.
- 2) Что такое сила тока и плотность тока? Какова связь между ними?
- 3) Сформулируйте условия возникновения тока.
- 4) Приведите и поясните уравнение непрерывности тока.
- 5) Сформулируйте условие стационарности тока в интегральной и дифференциальной формах.
- 6) Что такое электрическое сопротивление и от чего оно зависит?
- 7) Сформулируйте закон Ома.
- 8) Что такое сторонние силы? ЭДС источника?
- 9) Сформулируйте правила Кирхгофа. Объясните, как применять эти правила для расчета разветвленных цепей.

## **Работа и мощность тока.**



При изучении данной темы, студент должен усвоить, закон Джоуля-Ленца, уметь его объяснить. Знать, на что расходуется работа электрического тока. Уметь находить значения силы тока и сопротивления, при которых полезная мощность максимальна. Должен знать такие физические понятия как мощность и КПД источника тока.

*План изучения темы:*

1. Работа электрического тока.
2. Мощность выделяемая в проводнике.
3. Закон Джоуля-Ленца.
4. Мощность выделяемая во внешней цепи.
5. КПД источника.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое работа электрического тока? Получите формулу работы электрического тока.
- 2) Запишите и поясните закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах.
- 3) Что такое мощность электрического тока?
- 4) Найдите, при каком сопротивлении полезная мощность максимальна.
- 5) Найдите, при какой силе тока полезная мощность максимальна.
- 6) Что такое КПД источника и от чего зависит?

### **Классическая теория электропроводности металлов.**

Изучая данную тему, студент должен усвоить основные положения классической электронной теории электропроводности металлов. Знать, какова природа носителей заряда в металлах, какова природа электрического сопротивления, усвоить основные механизмы электропроводности. Изучить основные экспериментальные факты, связанные с электропроводностью металлов и их теоретическую интерпретацию.

*План изучения темы:*

1. Природа носителей тока в металлах.
2. Вывод основных законов электрического тока.
3. Работа выхода электронов из металла.
4. Эмиссионные явления и их применение.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Опишите опыты Толмена и Стюарта
- 2) Сформулируйте основные положения классической электронной теории электропроводности металлов.
- 3) Объясните природу электрического сопротивления с точки зрения классической электронной теории электропроводности.
- 4) Получите формулы законов Ома и Джоуля-Ленца.
- 5) Как связаны теплопроводность и электропроводность металлов?
- 6) Что такое сверхпроводимость? Перечислите свойства сверхпроводников.
- 7) Каковы границы применимости классической электронной теории электропроводности металлов?

### **Элементы физической электроники**

При изучении данной темы студенты должны усвоить, чем отличаются полупроводники от проводников. Как зависит электропроводность полупроводников от

температуры и с чем это связано. Усвоить, каковы процессы образования электронов в полупроводниках. При изучении данной темы студент должен изучить токи в газах и в вакууме, эмиссионные явления, их типы и применение. Выяснить природу возникновения электрических зарядов в газах. Изучить такое состояние вещества как плазма и ее свойства.

*План изучения темы:*

1. Электрический ток в вакууме.
2. Термоэлектронная, вторичная и автоэлектронная эмиссии.
3. Электрический ток в газе.
4. Процессы, приводящие к появлению носителей тока в газах.
5. Виды ионизации: термическая, корпускулярная, фотоионизация, ионизация электрическим полем.
6. Рекомбинация.
7. Несамостоятельная и самостоятельная проводимость.
8. Ионизационные камеры и счетчики.
9. Понятие о плазме.
10. Газоразрядная плазма.
11. Тлеющий, дуговой, искровой и коронный разряд.
12. Квазинейтральность.
13. Дебаевский радиус.
14. Высокотемпературная и холодная плазма.
15. Солнце.
16. Ионосфера.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое полупроводник и каковы его свойства?
- 2) Как зависит проводимость полупроводников от температуры и почему?
- 3) Что такое энергия уровня Ферми?
- 4) Что такое собственная проводимость?
- 5) Что такое примесная проводимость?
- 6) Как образуются носители заряда в полупроводнике?
- 7) Каков механизм возникновения тока в газах?
- 8) Что такое самостоятельный и несамоустойчивый ток?
- 9) За счет каких факторов подвижность отрицательных зарядов больше, чем положительных?
- 10) В чем состоит механизм термоэлектронной эмиссии?
- 11) Чем обусловлено существование тока насыщения? От чего зависит его сила?
- 12) Что такое плазма?
- 13) Перечислите основные свойства плазмы.
- 14) Что такое квазинейтральность?
- 15) Что такое дебаевский радиус?

## **РАЗДЕЛ 4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.**

### **Магнитное поле**

Изучая этот раздел, студент должен усвоить закон Ампера, знать и уметь применять закон Био-Савара-Лапласа для расчета магнитной индукции или напряженности магнитного поля прямолинейного и кругового токов.

*План изучения темы:*

- 1) Взаимодействие токов.
- 2) Закон Ампера.
- 3) Магнитная индукция.

- 4) Принцип суперпозиции полей.
- 5) Дифференциальная форма закона Ампера.
- 6) Закон Био-Савара.
- 7) Магнитные поля движущегося заряда и бесконечного прямолинейного проводника с током.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с противоположно направленными токами, причем  $J_1=2J_2$ . В какой точке индукция  $\vec{B}$  результирующего магнитного поля равна нулю ?



- 2) Сформулируйте и запишите закон взаимодействия между двумя элементами тока. В чем схожесть и различия законов Ампера и Кулона ?
- 3) Как вычислить силу взаимодействия между протяженными проводниками с током ?
- 4) Как взаимодействуют между собой тонкие прямолинейные параллельные проводники с током ?
- 5) Что такое вектор магнитной индукции ?
- 6) Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа ?
- 7) Как вычислить вектор магнитной индукции магнитных полей линейных токов ?
- 8) Вычислите магнитную индукцию поля бесконечно прямого проводника с током ?
- 9) Как графически изображаются магнитные поля ?

### **Контур с током в магнитном поле**

Изучая этот раздел, студент должен знать и применять формулу для определения работы по перемещению контура с током в магнитном поле.

*План изучения темы:*

- 1) Момент сил Ампера, действующих на контур с током.
- 2) Дипольный магнитный момент контура с током.
- 3) Контур с током в неоднородном магнитном поле.
- 4) Магнитное поле кругового контура с током.
- 5) Работа по перемещению контура с током в магнитном поле.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Вычислите магнитную индукцию поля на оси контура с током ?
- 2) Как определяются величина и направление магнитного момента кругового тока ?
- 3) Что такое поток вектора магнитной индукции ?
- 4) Опишите поведение рамки с током в магнитном поле.
- 5) Как определяется работа, совершаемая силой Ампера при перемещении замкнутого контура в магнитном поле ?
- 6)

### **Дивергенция и ротор магнитного поля**

Изучая этот раздел, студент должен усвоить закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для расчета магнитного поля тороида и длинного соленоида.

*План изучения темы:*

- 1) Поток вектора магнитного поля через замкнутую поверхность.

- 2) Циркуляция вектора магнитного поля по замкнутому контуру.
- 3) Магнитное поле бесконечно длинного соленоида и
- 4) Магнитное поле тороида.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Запишите и прокомментируйте условие соленоидальности магнитного поля ( в интегральной и дифференциальной формах).
- 2) Чему равны циркуляция и ротор вектора магнитной индукции стационарного тока ?
- 3) Докажите, что магнитное поле внутри и снаружи бесконечно длинного соленоида однородно.
- 4) Докажите, что магнитное поле снаружи бесконечно длинного соленоида равно нулю.
- 5) Как вычисляется магнитное поле тонкого соленоида ?
- 6) Выведите формулу для определения магнитной индукции вблизи конца полубесконечного соленоида.
- 7) Выведите формулу для определения магнитной индукции внутри соленоида конечной длины.
- 8) Как вычисляется магнитное поле тороида ?
- 9)

### **Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях**

Изучая этот раздел, студент должен усвоить силу Лоренца и уметь применять формулу для нее, определять направление движения заряженных частиц в магнитном поле, представлять себе принцип циклических ускорителей заряженных частиц. Студенту также необходимо понимать, что действие силы Лоренца объясняет большинство явлений, происходящих в плазме, находящейся в магнитном поле. Примером такой плазмы является ионосферная плазма в верхней атмосфере Земли.

*План изучения темы:*

- 1) Сила Лоренца.
- 2) Отклонение заряженных частиц электрическим и магнитным полями.
- 3) Масс-спектрографы.
- 4) Ускорители заряженных частиц.
- 5) Токи в ионосфере и магнитосфере Земли.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Поясните формулу для силы Лоренца ?
- 2) Докажите, что сила Лоренца не совершает работы ?
- 3) Опишите движение заряженной частицы в магнитном поле ?
- 4) Докажите, что траектория движения заряженной частицы, перпендикулярно влетевшей силовым линиям в магнитном поле, будет окружность.
- 5) От чего зависит гирорадиус, гирочастота и период обращения частицы вокруг магнитной силовой линии ?
- 6) Что такое магнитная «бутылка» ?
- 7) Опишите принцип действия масс-спектрографов ? Где они используются и для чего?
- 8) Как действуют ускорители заряженных частиц ?
- 9) Опишите явление электромагнитного дрейфа ?
- 10) Опишите явления гравитационного дрейфа ?
- 11) В чем принципиальная разница между электромагнитным и гравитационным дрейфами ?

- 12) Опишите токи в ионосфере и магнитосфере Земли ? За счет чего они образуются и на что влияют ?

### **Магнитное поле в веществе**

Изучая этот раздел, студент должен уяснить, что исходя из выражения циркуляции вектора магнитной индукции, магнитное поле в отличие от электрического является вихревым.

*План изучения темы:*

- 1) Магнетики.
- 2) Намагниченность.
- 3) Напряжённость магнитного поля.
- 4) Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость.
- 5) Условия на границе двух магнетиков.
- 6) Диамагнетики.
- 7) Парамагнетики.
- 8) Ферромагнетики.
- 9) Магнитный гистерезис.
- 10) Точка Кюри.
- 11) Закон Кюри-Вейса.
- 12) Антиферромагнетики.
- 13) Ферриты.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое намагничивание вещества ? С какими свойствами атомов и электронов намагничивание связано ?
- 2) Какие вещества называются диа-, пара-, ферромагнетиками ?
- 3) Что такое вектора намагничивания ?
- 4) Что такое магнитная восприимчивость ?
- 5) Как связаны между собой магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость ?
- 6) Что такое вектор напряженности магнитного поля ? Как он связан с вектором магнитной индукции ?
- 7) Сформулируйте и поясните закон полного тока в интегральной и дифференциальной формах ?
- 8) Сформулируйте и поясните граничные условия для магнитного поля ?

### **Электромагнитная индукция**

Изучая этот раздел, студент должен усвоить, что механизм возникновения ЭДС индукции имеет электронный характер. Изучив основной закон электромагнитной индукции Фарадея, студент на его основе должен уметь вывести и применять для расчетов формулы ЭДС индукции, энергии магнитного поля.

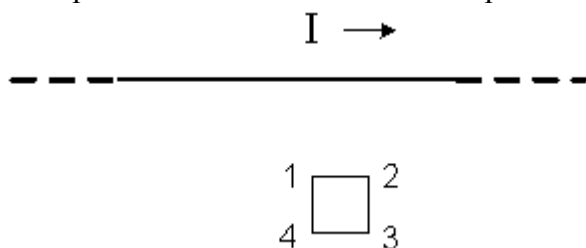
*План изучения темы:*

- 1) Закон индукции Фарадея.
- 2) Правило Ленца.
- 3) Вихревое электрическое поле.
- 4) Токи Фуко.
- 5) Самоиндукция.
- 6) Индуктивность контура.
- 7) ЭДС самоиндукции.
- 8) Токи при размыкании и замыкании цепи.
- 9) Взаимная индукция.
- 10) Энергия магнитного поля, её объёмная плотность.

Рекомендуемая литература: 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

Вопросы и задания для самопроверки:

- 1) На рисунке показан длинный проводник с током, около которого находится небольшая проводящая рамка. Что произойдет с рамкой при **выключении** в проводнике тока заданного направления ?



- 2) Что такое коэффициенты индуктивности и взаимной индуктивности ?
- 3) Вычислите индуктивность соленоида.
- 4) Вычислите коэффициенты взаимной индуктивности двух прямых катушек, намотанных на общий каркас.
- 5) Что такое электромагнитная индукция ?
- 6) Какие два явления электромагнитной индукции Вы знаете ?
- 7) К каким эффектам в среде и в вакууме приводит электромагнитная индукция ?
- 8) Приведите и объясните формулу для электромагнитной индукции.
- 9) Сформулируйте правило Ленца для явлений самоиндукции и взаимной индукции.
- 10) Покажите, что магнитное поле токов обладает энергией.
- 11) Чему равна энергия магнитного поля контура ?
- 12) Чему равна энергия магнитного поля системы двух контуров ?
- 13) Чему равна плотность энергии магнитного поля ?
- 14) Какие токи называются токами Фуко ?

### Уравнения Максвелла

Изучая этот раздел, студент должен уяснить физический смысл уравнений Максвелла (в интегральной и дифференциальной формах). Студент должен уметь вывести закон взаимодействия точечных зарядов (закон Кулона) из уравнений Максвелла. Также необходимым навыком является умение применять уравнения Максвелла к решению задач.

План изучения темы:

- 1) Вихревое электрическое поле.
- 2) Токи смещения.
- 3) Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.
- 4) Принцип относительности в электродинамике.
- 5) Квазистационарные поля и токи.

Рекомендуемая литература: 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

Вопросы и задания для самопроверки:

- 1) Для какого случая справедлива следующая система уравнений Максвелла

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0$$

$$\oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

- 2) Приведите в интегральной и дифференциальной формах и поясните уравнения Максвелла для циркуляции вектора напряженности магнитного поля.
- 3) Что такое электромагнитное поле ? Как связано определение электромагнитного поля с уравнениями Максвелла ?
- 4) Запишите структурные уравнения Максвелла и раскройте их физический смысл ?
- 5) В чем состоит относительность электрических и магнитных полей ?
- 6) Приведите и поясните условие малости тока смещения.
- 7) Запишите систему уравнений Максвелла для вакуума ?

### Колебания в RLC цепях

При изучении этого раздела следует параллельно рассматривать механические и электромагнитные колебания, что способствует выработке у студента единого подхода к колебаниям различной физической природы. Здесь следует четко уяснить понятия фазы, разности фаз, амплитуды, частоты, периода колебаний и там, где это необходимо, использовать графический метод представления гармонических колебаний. Нужно уяснить, что любые колебания линейной системы всегда можно представить в виде суперпозиции одновременно совершающихся гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и начальными фазами.

*План изучения темы:*

- 1) Переходные процессы в цепях с ёмкостью и индуктивностью.
- 2) Колебательный контур.
- 3) Колебания в контуре без активного сопротивления.
- 4) Затухающие колебания.
- 5) Логарифмический декремент затухания.
- 6) Добротность контура.
- 7) Вынужденные электрические колебания.
- 8) Резонанс.
- 9) Частоты резонанса.
- 10) Импеданс цепи.
- 11) Индуктивное сопротивление.
- 12) Ёмкостное сопротивление.
- 13) Реактивное сопротивление.
- 14) Мощность в цепи переменного тока.
- 15) Эффективное значение силы тока.
- 16) Коэффициент мощности.
- 17) Комплексная форма представления колебаний.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие токи в цепях называются экстратоками ?
- 2) Что называется колебательным контуром ?
- 3) Выведите формулу для определения периода свободных незатухающих электромагнитных колебаний ?
- 4) Что такое импеданс блока цепи переменного тока ?
- 5) Что определяют модуль и аргумент импеданса ?
- 6) Как выражается импеданс, его модуль и аргумент для индуктивности ?
- 7) Как выражается импеданс, его модуль и аргумент для емкости ?

- 8) Запишите и поясните выражение для импеданса цепи, содержащей последовательно соединенные индуктивность, емкость и активное сопротивление.
- 9) Запишите и поясните выражение для активной мощности переменного тока.
- 10) Что такое явление резонанса ?

### Электромагнитный волны

Изучая этот раздел, студент должен обратить внимание на картину мгновенного распределения смещения и скоростей в бегущей волне, различие между бегущей и стоячей волнами, зависимость фазовой скорости от частоты колебаний, найти связь между групповой и фазовой скоростями и показать их равенство в отсутствие дисперсии волн. Необходимо четко представлять, что переменные электрическое и магнитное поля взаимосвязаны, они поддерживают друг друга и могут существовать независимо от источника, их породившего, распространяясь в пространстве в виде электромагнитной волны. Под энергией электромагнитной волны следует подразумевать сумму энергий электрического и магнитного полей. Простейшей системой, излучающей электромагнитные волны, является колеблющийся электрический диполь. Следует помнить, что если диполь совершает гармонические колебания, то он излучает монохроматическую волну.

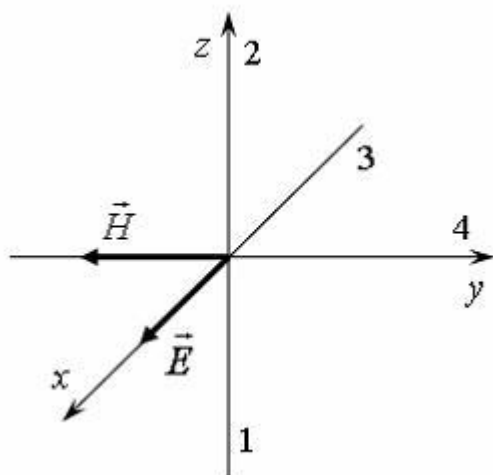
*План изучения темы:*

- 1) Фазовая скорость, длина волны, волновое число, фазовый фронт, волновой вектор.
- 2) Плоские и сферические волны.
- 3) Затухание волн.
- 4) Волновое уравнение.
- 5) Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.
- 6) Энергия электромагнитных волн. Вектор Пойтинга.
- 7) Импульс электромагнитного поля.
- 8) Излучение диполя.
- 9) Взаимодействие электромагнитных волн с веществом.

*Рекомендуемая литература:* 2, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 24, 27, 31, 33–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси OX, имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . Чему равна скорость распространения волны (в м/с)?
- 2) На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического ( $\vec{E}$ ) и магнитного ( $\vec{H}$ ) полей в электромагнитной волне. В каком направлении ориентирован вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ?





- 3) Волновое уравнение и смысл его решений. Виды решений для плоских, сферических и цилиндрических волн.
- 4) Что такое фазовая скорость?
- 5) Из каких теоретических соображений следует существование электромагнитных волн?
- 6) Векторная структура электромагнитных волн в непроводящих средах при отсутствии токов и свободных зарядов.
- 7) Формула взаимосвязи между характеристиками плоской электромагнитной волны и важный физический вывод из этой формулы.
- 8) Плотность энергии электромагнитной волны. Вектор Пойнтинга, его выражение и смысл.
- 9) Зависимость мощности излучения от частоты.

## РАЗДЕЛ 5. ОПТИКА.

### Геометрическая оптика. Фотометрия

Изучая этот раздел, студент должен понимать, что такой подход основан на пренебрежении волновыми свойствами света, т.е. применим только в случае, когда рассматриваемое препятствие много больше длины световой волны. Студент должен знать основные законы геометрической оптики и уметь их применять к решению задач. Необходимо также четко понимать смысл принципа Ферма и уметь на его основе выводить основные законы геометрической оптики.

*План изучения темы:*

- 1) Волновые и корпускулярные свойства света.
- 2) Дисперсия.
- 3) Интенсивность света.
- 4) Основные законы геометрической оптики.
- 5) Полное внутреннее отражение.
- 6) Принцип Ферма.
- 7) Зеркала, тонкие линзы, основные оптические приборы.
- 8) Формула тонкой линзы.
- 9) Фотометрические величины.

*Рекомендуемая литература:* 2, 3, 7, 9, 13, 18, 21, 22, 24, 28, 35–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) В чем смысл приближения геометрической оптики ?
- 2) Что такое световые лучи ?
- 3) Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
- 4) В чем заключается принцип Ферма ?
- 5) Выведите на основе принципа Ферма закон отражения световых лучей от границы раздела двух сред.
- 6) Выведите на основе принципа Ферма закон преломления световых лучей от границы раздела двух сред.
- 7) В чем заключается явления полного внутреннего отражения ? Где применяется это явление ?
- 8) В чем заключается отличие зеркального отражения от диффузного ?
- 9) Рассмотрите ход лучей при преломлении от сферической поверхности.
- 10) Какие оптические системы называются собирающими, рассеивающими ?
- 11) Формула тонкой линзы.
- 12) Рассмотрите построения изображения в собирающей и рассеивающей линзах при всех возможных расположениях предмета.
- 13) Что такое фокальная плоскость ?

- 14) Как построить ход луча через тонкую линзу, если луч падает на линзу под углом к ее оптической оси ?
- 15) Что такое оптическая сила линзы ?
- 16) Что такое световой поток ?
- 17) Что такое сила света точечного источника ?
- 18) Что такое освещенность ?
- 19) Что такое светимость ?
- 20) Что такое яркость ?
- 21) В чем причина дефекта зрения, называемого близорукостью, дальнозоркостью ? Как с помощью очков корректируются данные дефекты зрения ?

### **Интерференция света**

Изучая этот раздел, студент должен четко уяснить, что интерференция света является доказательством волновых свойств света. При изучении этой темы следует обратить внимание на такие вопросы, как цвета тонких пленок, полосы равной толщины и равного наклона. Следует помнить, что при интерференции света имеет место суперпозиция, связанная с перераспределением энергии, а не с взаимодействием волн. Студент также должен иметь представления о применении интерференции в технике, знать и уметь объяснить ход лучей и принцип действия интерферометров различных схем. Необходимо также понимать, что различие интерферометров в основном заключается в способе получения двух и более когерентных волн.

*План изучения темы:*

- 1) Принцип Гюйгенса.
- 2) Когерентные волны.
- 3) Интерференция волн.
- 4) Оптическая разность хода.
- 5) Полосы равного наклона.
- 6) Полосы равной толщины.
- 7) Кольца Ньютона.
- 8) Интерферометр Майкельсона.
- 9) Интерферометр Фабри-Перо.

*Рекомендуемая литература:* 2, 3, 7, 9, 13, 18, 21, 22, 24, 28, 35–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие волны называются когерентными?
- 2) Отличие интерференции от сложения некогерентных волн.
- 3) Почему невозможно осуществление двух когерентных источников света обычного типа? Какой метод используется в оптике для получения когерентных световых волн?
- 4) Условия максимума и минимума при интерференции волн от двух точечных источников (Метод Юнга). Пространственное распределение максимумов и минимумов.
- 5) Какие еще существуют оптические системы для получения интерференционной картины ? Принцип их действия. Условия минимума и максимума для них.
- 6) Применения интерференции света. Что лежит в основе этих применений?
- 7) Полосы равного наклона.
- 8) Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.
- 9) Опишите принципиальную оптическую схему интерферометра Майкельсона.
- 10) Опишите принципиальную оптическую схему интерферометра Фабри-Перо.

### **Дифракция волн**

Изучая этот раздел, необходимо уяснить метод зон Френеля, уметь пользоваться графическим методом сложения амплитуд, что будет способствовать пониманию дифракции

на одной щели, дифракционной решетки. Кроме того, необходимо изучить дифракцию на пространственной решетке и уметь пользоваться формулой Вульфа-Брэггов, являющейся основной в рентгеноструктурном анализе, имеющем важнейшее практическое применение.

*План изучения темы:*

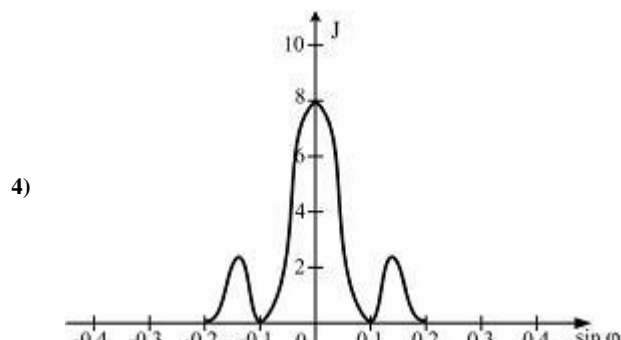
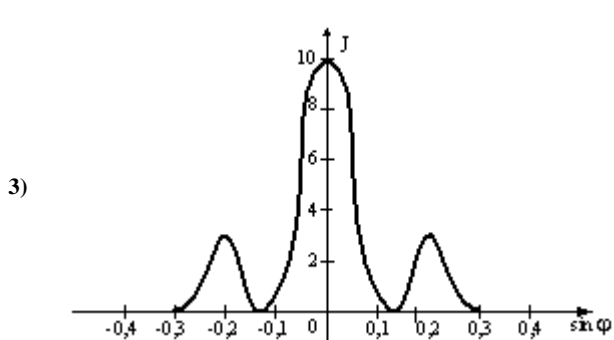
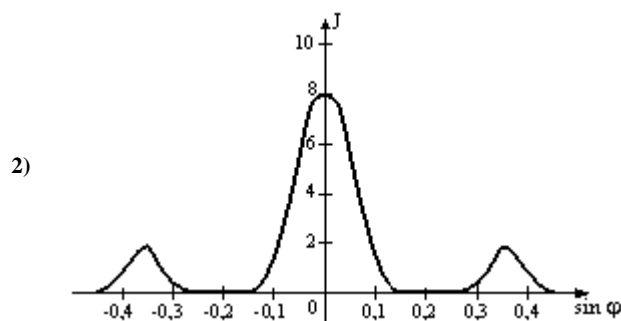
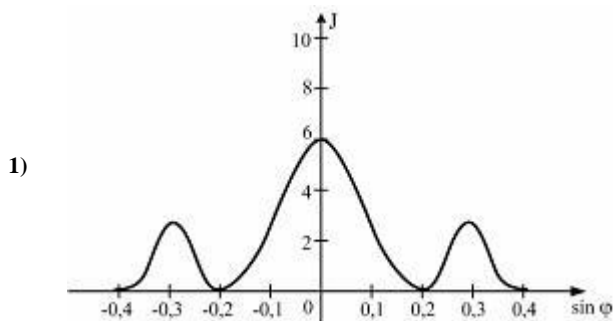
- 1) Дифракция Фраунгофера и дифракция Френеля.
- 2) Принцип Гюйгенса-Френеля.
- 3) Зоны Френеля.
- 4) Амплитудная и фазовая зонные пластинки.
- 5) Дифракция от круглого отверстия, круглого диска, щели.
- 6) Дифракционная решетка.
- 7) Угловая дисперсия.
- 8) Разрешающая сила.
- 9) Дифракция на пространственной решётке.
- 10) Голография.

*Рекомендуемая литература:* 2, 3, 7, 9, 13, 18, 21, 22, 24, 28, 35–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Имеются 4 решетки с различными постоянными  $d$ , освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением различной интенсивности. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой с **наименьшей постоянной решетки**? ( $J$  – интенсивность света,  $\varphi$  – угол дифракции).

**Варианты ответов:**



- 2) Что такое дифракция волн? Поясните принцип Гюйгенса-Френеля.
- 3) В чем состоит метод зон Френеля? Почему действия зон на точку наблюдения убывают с ростом номера зон? К чему сводится действие всей совокупности зон?

- 4) Какой вид имеет дифракционная картина при дифракции Френеля на круглом отверстии? Какими будут освещенности в центральной точке экрана, если на отверстии укладываются одна, две, три и множество зон Френеля?
- 5) Какой вид имеет дифракционная картина при дифракции Фраунгофера на одной щели?
- 6) Условия максимума и минимума при дифракции на одной щели.
- 7) Что общего между интерференцией соответственных лучей в дифракционной решетке и интерференцией волн от «n» вибраторов, расположенных вдоль прямой.
- 8) Кривая зависимости интенсивности дифрагированных на решетке лучей от синуса угла дифракции. Главные максимумы, добавочные минимумы и максимумы.
- 9) Какие изменения в дифракционной картине имеют место при увеличении числа щелей в решетке?
- 10) Как посредством дифракционной решетки определяется спектральный состав оптического излучения? В каком порядке располагаются цвета в дифракционных спектрах?
- 11) Выведите формулу для максимума дифракционной картины, получаемой с помощью дифракционной решетки, при наклонном падении на нее лучей.
- 12) Что такое угловая и линейная дисперсии дифракционной решетки, как они выражаются и как связаны между собой?
- 13) Что такое разрешающая способность спектрального прибора? Критерий Рэлея различимости длин волн. Как выражается разрешающая способность дифракционной решетки?
- 14) Чем обуславливается трехмерность изображения объекта? Почему на обычных фотографиях изображения объектов плоские, а не пространственные?
- 15) Что такое голограмма и как она получается? Каким образом в точках голограммы регистрируются фазы?
- 16) Как с голограммы восстанавливается изображение объекта? Что будет, если при этом вместо голограммы в целом использовать ее малый кусок?
- 17) Что представляет собой голограмма удаленной точки, рассеивающей когерентный свет при нормальном падении опорного пучка на пластинку? Объясните механизм восстановления изображения с этой голограммы.
- 18) Применения голографии в настоящее время и перспективы ее применений в будущем.

## **Поляризация света**

Изучая этот раздел, студент должен уяснить, что поперечность световых волн была экспериментально установлена при изучении явления поляризации света, которое имеет огромное практическое применение. При изучении этого явления особое внимание следует обратить на способы получения поляризованного света и применение законов Брюстера, Малюса, на явление вращения плоскости поляризации в кристаллах и растворах.

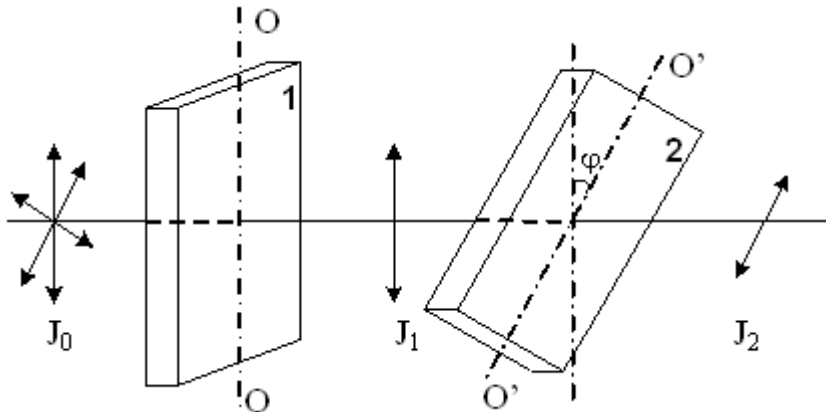
*План изучения темы:*

- 1) Поляризованный свет.
- 2) Круговая и плоская поляризация.
- 3) Поляризатор.
- 4) Степень поляризации.
- 5) Закон Малюса.
- 6) Поляризация при отражении и преломлении.
- 7) Закон Брюстера.
- 8) Поляризация при двойном лучепреломлении.
- 9) Призма Николя.
- 10) Дихроизм.
- 11) Прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку.
- 12) Вращение плоскости поляризации.
- 13) Эффект Фарадея.

Рекомендуемая литература: 2, 3, 7, 9, 13, 18, 21, 22, 24, 28, 35–37.

Вопросы и задания для самопроверки:

- 1) На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки **1** свет полностью поляризован. Если  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки **1** и **2** соответственно, и  $J_2 = \frac{J_1}{4}$ . Чему равен угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  ?



- 2) Плоскополяризованная электромагнитная волна. Эллиптически поляризованная волна и условия ее получения.
- 3) Естественный и поляризованный свет.
- 4) Получение поляризованного света при прохождении через кристаллические пластинки и при отражении и преломлении на поверхностях диэлектриков.
- 5) Закон Мал юса.
- 6) Закон Брюстера.
- 7) Доказать, что при угле падения луча света на границу раздела двух сред, равным углу Брюстера, угол между отраженным и преломленным лучом равен 90 градусов.
- 8) Причины различия  $\epsilon$  для разных направлений в анизотропной среде.
- 9) Эллипсоид диэлектрической проницаемости. Главные направления в кристалле.
- 10) Почему в кристаллах векторы напряженности  $E$  и смещения  $O$  в общем случае не совпадают по направлению?
- 11) Почему в анизотропных средах скорость распространения фазы не совпадает по направлению со скоростью перемещения энергии?
- 12) Когда и почему плоскополяризованная волна, распространяющаяся в кристалле, раскладывается на две волны, распространяющихся с различными фазовыми скоростями, и когда такого разложения не происходит?
- 13) Что такое оптическая ось кристалла? Каким свойством обладает волна, распространяющаяся вдоль этой оси?
- 14) Распространение волн в одноосных кристаллах. Свойства обыкновенной и необыкновенной волн.
- 15) Какие одноосные кристаллы называются положительными и какие — отрицательными?
- 16) Как выглядит на опыте двойное лучепреломление в кристаллах?
- 17) Поляризационные призмы, двоякопреломляющие призмы и поляроиды.
- 18) Механизм вращения плоскости поляризации при прохождении световой волны через среду с внешним магнитным полем (явление Фарадея).

### Распространение света в веществе.

Изучая этот раздел, студент должен уяснить сущность электронной теории этого явления, отличие нормальной дисперсии от аномальной. Также должен четко представлять

себе такие понятия, как фазовая и групповая скорости, знать связь между ними и показать их равенство при отсутствии дисперсии. Следует представлять, что при движении заряженных частиц в веществе в том случае, когда их скорость движения превышает фазовую скорость световых волн в этой среде, возникает излучение Вавилова-Черенкова, которое нужно рассматривать как классическое явление.

*План изучения темы:*

- 1) Дисперсия света.
- 2) Дисперсия вещества.
- 3) Групповая скорость электромагнитных волн.
- 4) Элементарная электронная теория дисперсии.
- 5) Поглощение света.
- 6) Закон Бугера-Ламберта.
- 7) Спектры излучения и поглощения.
- 8) Рассеяние света.
- 9) Закон Рэлея.
- 10) Эффект Вавилова-Черенкова.

*Рекомендуемая литература:* 2, 3, 7, 9, 13, 18, 21, 22, 24, 28, 35–37.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Монохроматическая волна и ее свойства.
- 2) Что такое дисперсия волн ?
- 3) Что такое фазовая скорость?
- 4) Спектральное разложение волн по частотам и его смысл.
- 5) Волновой пакет и его свойства.
- 6) Что такое групповая скорость?
- 7) Что такое оптические электроны атомов и молекул и как они реагируют на внешние периодические воздействия?
- 8) Какая дисперсия называется нормальной и какая — аномальной?
- 9) Если электромагнитная волна падает на вещество, то какие силы действуют на оптические электроны и какой вид движений совершают эти электроны?
- 10) Кривая зависимости квадрата показателя преломления от частоты падающей волны. Укажите области нормальной и аномальной дисперсии.
- 11) Почему области аномальной дисперсии являются областями поглощения?
- 12) Закон Бугера. Смысл коэффициента поглощения.

## **РАЗДЕЛ 6. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ.**

### **Квантово-оптические явления. Тепловое излучение.**

При изучении данной темы студент должен знать понятие теплового излучения, законы теплового излучения. Главным в этой теме является тот факт, что именно для адекватного описания теплового излучения Планк вводит понятие об испускании света порциями, т.е. квантами. На основе формулы Планка выводятся все экспериментальные законы теплового излучения.

*План изучения темы:*

1. Тепловое излучение.
2. Энергетическая светимость.
3. Испускательная и поглощательная способности.
4. Абсолютно черное тело.
5. Закон Кирхгофа.
6. Закон Стефана-Больцмана.
7. Закон Вина.

8. Формула Рэля-Джинса.
9. Формула Планка.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 21, 23, 25, 28, 35, 36, 37, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что называется тепловым излучением?
- 2) Перечислите особенности теплового излучения.
- 3) Что такое абсолютно черное тело?
- 4) Сформулируйте закон Кирхгофа, закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
- 5) Сформулируйте квантовую гипотезу Планка.
- 6) Температура верхних слоев звезды Сириуса 10 кК. Определить поток энергии, излучаемой с поверхности площадью  $1 \text{ км}^2$  этой звезды.
- 7) Какую мощность излучения имеет Солнце? Излучение Солнца считать близким к излучению АЧТ. Температура поверхности солнца 5800 К.
- 8) Фотон с длиной волны 1 пм рассеялся на свободном электроны под углом  $90^\circ$ . Какую долю своей энергии фотон передал электрону?

### **Фотоэффект. Фотоны. Эффект Комптона.**

При изучении данной темы студент должен знать явления и описывающего его законы фотоэффекта. Основной идеей этих законов является тот факт, что Эйнштейн предположил, что свет не только испускается в виде квантов, но и поглощается аналогичными порциями.

*План изучения темы:*

1. Закон фотоэффекта.
2. Ток насыщения.
3. Формула Эйнштейна.
4. Красная граница фотоэффекта.
5. Фотоны.
6. Опыт Бозе.
7. Эффект Комптона.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 21, 23, 25, 28, 35, 36, 37, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Дайте определение внешнего фотоэффекта.
- 2) Что такое ток насыщения и задерживающее напряжение?
- 3) Сформулируйте законы фотоэффекта.
- 4) Как с помощью уравнение Эйнштейна объяснить 1 и 2 законы фотоэффекта?
- 5) Какие характеристики фотона определяют его волновые и корпускулярные свойства?
- 6) Какая доля энергии фотона расходуется на работу выхода фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта 307 нм, а максимальная кинетическая энергия 1 эВ?
- 7) Найти постоянную Планка, если известно, что электрон, вырываемый из металла светом с частотой  $2,2 \cdot 10^{15}$  Гц, задерживается разностью потенциалов 6,6 В, а вырываемый светом с частотой  $4,6 \cdot 10^{15}$  Гц задерживается разностью потенциалов 16,5 В.

### **Экспериментальное обоснование квантовой теории. Боровская теория атома.**

При изучении данной темы студент должен иметь понятие об экспериментальном обосновании квантовой теории. Студент должен знать и уметь применять положения Боровской теории атомов.

*План изучения темы:*

1. Закономерности атомных спектров.

2. Модели атома Томсона и Резерфорда.
3. Постулаты Бора.
4. Квантование орбит.
5. Боровский радиус.
6. Опыт Франка и Герца.
7. Опыт Штерна и Герлаха.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 21, 23, 25, 28, 35, 36, 37, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Почему модель атома Резерфорда (планетарная модель) оказалась несостоятельной?
- 2) Запишите обобщенную формулу Бальмера для атома водорода.
- 3) Сформулируйте постулаты Бора.
- 4) Опишите модель атома Резерфорда-Бора
- 5) Что называется главным квантовым числом? Какое состояние атома называется возбужденным?
- 6) Найти радиус первой боровской орбиты для однократно ионизированного атома гелия и скорость электрона на ней.
- 7) Атомарный водород, возбужденный светом определенной длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определить длины волн этих линий и указать каким сериям они принадлежат.

### **Элементы квантовой механики**

При изучении данной темы студенты должны понимать волновую природу элементарных частиц, основанную на гипотезе де-Бройля, смысл соотношений неопределенности Гейзенберга и ограничения, накладываемые ими на процесс изучения частиц. Студент должен знать и уметь применять уравнения Шредингера для описания состояния частиц.

*План изучения темы:*

1. Корпускулярно-волновой дуализм.
2. Гипотеза де-Бройля.
3. Опыты по дифракции корпускулярных пучков.
4. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
5. Волновая функция.
6. Уравнение Шредингера.
7. Стационарные состояния.
8. Квантование энергии.
9. Собственные функции и собственные значения.
10. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме.
11. Прохождение частицы через потенциальный барьер.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 21, 23, 25, 28, 35, 36, 37, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Сформулируйте гипотезу де Бройля
- 2) Сформулируйте и запишите соотношение неопределенностей Гейзенберга.
- 3) Запишите стационарные и временные уравнения Шредингера
- 4) Что определяет квадрат волновой функции?
- 5) Может ли частица находиться на дне потенциальной ямы?
- 6) Какими свойствами микрочастиц обусловлен туннельный эффект?
- 7) В прямоугольной потенциальной яме шириной  $l$  с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < l$ ) находится частица в состоянии  $n=4$ . Найти вероятность местонахождения частицы в области  $l/3 < x < l$ .



- 8) Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, определить относительную неточность  $\Delta p/p$  импульса этой величины.
- 9) Коэффициент прохождения электронов через низкий потенциальный барьер равен коэффициенту отражения. Определить, во сколько раз кинетическая энергия электронов больше высоты потенциального барьера.

### Состояния атомов.

При изучении данной темы студент должен понимать, какими физическими величинами описывается состояния атомов. Студент должен уметь на основе постулатов Бора вычислять состояния атома водорода и водородоподобных атомов.

*План изучения темы:*

1. Атом водорода.
2. Потенциалы ионизации и возбуждения.
3. Квантовые числа.
4. Вырожденные состояния.
5. Спектры сложных атомов.
6. Ширина спектральных линий.
7. Мультиплетность спектров.
8. Спин электрона.
9. Магнетон Бора.
10. Спин-орбитальное взаимодействие.
11. Эффект Зеемана.
12. Принцип Паули.
13. Расположение элементов в системе Менделеева.
14. Рентгеновские спектры.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что характеризуют квантовые числа: главное, орбитальное, магнитное. Какие значения они могут принимать?
- 2) Сформулируйте правило отбора.
- 3) Что такое спин электрона?
- 4) В чем суть принципа неразличимости тождественных частиц?
- 5) Сформулируйте принцип Паули.
- 6) Заполненный электронный слой характеризуется квантовым числом  $n = 3$ . Указать число электронов в этом слое, которые имеют одинаковые следующие квантовые числа: 1)  $m_s = +1/2$ ; 2)  $m_l = -2$ ; 3)  $m_s = -1/2$  и  $m_l = 0$ ; 4)  $m_s = +1/2$  и  $l = 2$ .
- 7) ( $m_s$  – спиновое магнитное квантовое число;  $m_l$  – орбитальное магнитное квантовое число;  $l$  – орбитальное квантовое число)
- 8) Найти число электронов в атомах, у которых в основном состоянии заполнены: 1) К- и L-слои, 3s- оболочка и наполовину 3p-оболочка; 2) К-, L- и M-слои и 4s-, 4p- и 4d-оболочки. Что это за атомы?

### Молекулы.

При изучении данной темы студент должен понимать, в чем заключается сложность при описании состояния молекул и какие необходимы дополнительно учитывать их особенности.

*План изучения темы:*

1. Ионная и ковалентная связи атомов в молекуле.
2. Энергия диссоциации.
3. Полная энергия молекулы.

4. Вращательные, колебательно-вращательные и электронно-колебательные полосы.
5. Комбинационное рассеяние света.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Какие спектры называются молекулярными?
- 2) Каков механизм возникновения электронно-колебательных и колебательно-вращательных спектров?
- 3) В чем заключается явление комбинационного рассеяния света?

#### **Задачи для самопроверки:**

1. Известно, что в спектре комбинационного рассеяния помимо несмещенной спектральной линии возникают красные (стоксовы) и фиолетовые (антистоксовы) спутники. Объясните механизм их возникновения и их свойства.

#### **Элементы квантовой электроники**

При изучении данной темы студент должен знать основные понятия квантовой электроники и уметь объяснить принцип действия мазеров и лазеров.

*План изучения темы:*

1. Вынужденное излучение.
2. Мазеры.
3. Лазеры.
4. Накачка метастабильных уровней.
5. Свойства лазерного излучения.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что называется вынужденным излучением ?
- 2) Опишите принцип действия мазеров.
- 3) Опишите принцип действия лазеров. Чем лазеры отличаются от мазеров ?
- 4) Перечислите основные свойства лазерного излучения ?
- 5) Где применяется лазерное излучение ?

### **РАЗДЕЛ 7. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.**

#### **Элементы квантовой статистики.**

При изучении данной темы студент должен иметь понятия о квантовой статистике. Студент должен знать и уметь применять к решению задач квантовую статистику Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

*План изучения темы:*

1. Квантовая статистика.
2. Фазовое пространство.
3. Функция распределения
4. Понятие о квантовой статистике Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Запишите распределение Бозе-Эйнштейна и объясните его физический смысл.
- 2) Запишите распределение Ферми-Дирака и объясните его физический смысл.

- 3) Когда распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака переходят в классическое распределение Максвелла?
- 4) Определите функцию распределения Ферми-Дирака при  $T \neq 0$  К для электронов, находящихся на уровне Ферми. Объясните полученный результат.
- 5) Объясните физический смысл энергии Ферми.
- 6) Определите число свободных электронов, занимающих в среднем уровень энергии, равной энергии Ферми.

### **Кристаллы.**

При изучении данной темы студенты должны понимать, что классический подход к описанию тепловых свойств кристаллов, основанный на молекулярно-кинетической теории веществ, не описывает ряд экспериментальных данных. Поэтому необходимо применять квантовые представления о веществах, для адекватного описания кристаллов.

#### *План изучения темы:*

1. Колебания кристаллической решетки.
2. Теория Дебая теплоемкости кристаллов.
3. Энергия нулевых колебаний.
4. Фононы.
5. Распределение Бозе-Эйнштейна.
6. Бозоны.
7. Эффект Мессбауэра.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

#### *Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Опишите основные положения теории теплоемкости Дебая.
- 2) Что такое характеристическая температура Дебая?
- 3) Сформулируйте закон Дебая.
- 4) Пользуясь теорией теплоемкости Дебая, вычислить удельную теплоемкость алюминия при температуре равной характеристической температуре Дебая.
- 5) По теории теплоемкости Дебая вычислить максимальную частоту собственных колебаний в серебре, если известно, что молярная теплоемкость серебра при температуре 10 К равна 1,36 Дж/(моль\*К), температура много меньше характеристической температуры Дебая.

### **Элементы зонной теории твердых тел.**

При изучении данной темы студенты должны усвоить основные положения зонной теории твердых тел и на их основе описывать свойства проводников, полупроводников и диэлектриков.

#### *План изучения темы:*

1. Квантовая теория свободных электронов в металле.
2. Уровень Ферми.
3. Распределение Ферми-Дирака.
4. Фермионы.
5. Запрещенные зоны.
6. Валентная зона.
7. Зона проводимости.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

#### *Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое уровень Ферми?

- 2) Запишите распределение Ферми-Дирака и объясните его физический смысл.
- 3) Что такое запрещенная зона?
- 4) Что такое валентная зона?
- 5) Что такое зона проводимости?
- 6) Германиевый образец нагревают от 0 до 17 °С. Принимая ширину запрещенной зоны германия 0,72 эВ, определите, во сколько раз в возрасте его удельная проводимость.
- 7) Объясните и нарисуйте на зонной схеме положение уровня Ферми для электронного и дырочного полупроводников: при 0К и при повышении температуры.
- 8) Определить ширину запрещенной зоны кристалла кремния, если при температурах 600 К и 1200 К его удельные проводимости соответственно равны 20 См/м и 4095 См/м.

### **Электропроводность металлов и полупроводников**

При изучении данной темы студент должен знать квантовую теорию электропроводности металлов и полупроводников, уметь объяснять явление сверхпроводимости.

*План изучения темы:*

1. Электропроводность металлов.
2. Сверхпроводимость.
3. Дырочная проводимость.
4. Рекомбинация дырки и свободного электрона.
5. Примесная проводимость.
6. Примесные энергетические уровни.
7. Температурные зависимости проводимости.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Как на основе квантовой теории электропроводности металлов объяснить зависимость удельной проводимости от температуры?
- 2) Объясните явление сверхпроводимости.
- 3) Чем обусловлена проводимость собственных полупроводников?
- 4) Каков механизм дырочной проводимости полупроводников?
- 5) Каков механизм примесной проводимости полупроводников?
- 6) Определите сопротивление кремниевого образца (ширина запрещенной зоны равна 1,12 эВ) при температуре 23°С. Длина образца равна 10 мм, площадь поперечного сечения – 1 мм<sup>2</sup>. Подвижность электронов равна 3400 см<sup>2</sup>/(В·с), дырок – 1900 см<sup>2</sup>/В·с. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости равна  $2,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ , эффективная плотность состояний в валентной зоне равна  $10^{25} \text{ м}^{-3}$ .
- 7) Сравните выражения для удельной электрической проводимости металла по классической и квантовой теории и объясните, чем отличаются они по физическому содержанию.

### **Контактные и термоэлектрические явления.**

При изучении данной темы студент должен знать суть контактных явлений в полупроводниках и термоэлектрические явления.

*План изучения темы:*

1. Работа выхода.
2. Термоэлектронная эмиссия.
3. Контактная разность потенциалов.
4. Контактные явления в полупроводниках (p-n переходы).
5. Термоэлектрические явления.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое работа выхода электронов из металлов и полупроводников?
- 2) Что такое контактная разность потенциалов? Сформулируйте причины ее возникновения.
- 3) Сформулируйте законы Вольта.
- 4) В чем заключается явление термоэлектронной эмиссии?
- 5) Охарактеризуйте термоэлектрические явления (Зеебека, Пельтье, Томсона).
- 6) Для измерения температуры используется термопара хромель-копель, дифференциальная термо-э.д.с. которой в измеряемом интервале равна 69,5 мкВ/град. Определить, какую температуру имел измеряемый объект, если измеренная термо-э.д.с. оказалась равной 6,95 мВ, а "холодный" спай имел температуру 0°C
- 7) Замкнутая цепь состоит из двух различных полупроводников. Концентрация электронов проводимости в полупроводниках равна  $10^{24} \text{ м}^{-3}$  и  $10^{26} \text{ м}^{-3}$ , соответственно. Определить термо-э.д.с., возникающую в этой цепи, если разница температур контактов равна 100°C.

## **РАЗДЕЛ 8. АТОМНОЕ ЯДРО И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА.**

### **Атомное ядро.**

При изучении данной темы студент должен знать понятия нуклона, состав ядра, модели ядра. Студент должен четко понимать природу сил, удерживающих нуклоны в ядре, и их характеристики. Студент должен уметь решать задачи на определение дефекта ядра и оценить энергетический выход ядерной реакции.

*План изучения темы:*

1. Нуклоны.
2. Размеры ядер.
3. Спин ядра.
4. Масса и энергия связи.
5. Дефект массы.
6. Деление тяжелых и синтез легких ядер.
7. Ядерные силы.
8. Модели ядра.
9. Мезоны.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое нуклон?
- 2) Как определяется энергия связи ядра?
- 3) Что такое дефект массы ядра?
- 4) Перечислите основные свойства ядерных сил.
- 5) Опишите капельную и оболочечную модели ядра.
- 6) Определить минимальную энергию, необходимую для того, чтобы расщепить ядро атома углерода  $^{12}\text{C}_6$  на два равных осколка.
- 7) Определить энергию ядерной реакции  $^9\text{Be} (n, \gamma) ^{10}\text{B}$ , если известно, что энергия связи  $E_{\text{св.}}$  ядра  $^9\text{Be}$  равна 58,16 МэВ, а ядра  $^{10}\text{B}$  – 64,98 МэВ.

### **Радиоактивное излучение и его виды.**

При изучении данной темы студент должен четко уяснить явление радиоактивности и физических величин, характеризующих это явление. Студент должен уметь применять закон радиоактивного распада при решении задач.

*План изучения темы:*

1. Радиоактивность.
2. Постоянная распада.
3. Альфа, бета и гамма-излучения.
4. Альфа-распад.
5. Бета-распад.
6. Закон радиоактивного распада.
7. Правила смещения.
8. Нейтрино и антинейтрино.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что такое радиоактивность? Радиоактивное излучение?
- 2) Сформулируйте правило смещения для альфа-распада.
- 3) Сформулируйте правило смещения для бета-распада.
- 4) По какому закону изменяется со временем число нераспавшихся атомов нуклида?
- 5) Активность некоторого изотопа за время 10 суток уменьшилась на 20%. Определить период полураспада этого изотопа.
- 6) Какая часть начального количества атомов распадается за один год в радиоактивном изотопе тория  $^{228}\text{Th}$ ?
- 7) Пользуясь таблицей Менделеева и правилами смещения, определите, в какой элемент превращается  $^{238}\text{U}$  после трех альфа- и двух бета- распадов.

### **Ядерные реакции и их основные типы.**

При изучении темы студент должен знать понятие ядерной реакции, основные типы ядерных реакций. Студент должен уметь решать задачи на тему ядерных реакций. Также студент должен иметь представление об ядерной энергетике: о ее преимуществах и недостатках.

*План изучения темы:*

1. Реакция деления ядра.
2. Цепная реакция деления.
3. Понятие о ядерной энергетике.
4. Проблемы управляемых термоядерных реакций.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Что называется ядерными реакциями?
- 2) Перечислите основные типы ядерных реакций.
- 3) В чем заключается реакция деления ядра?
- 4) В чем заключается цепная реакция деления ядра?
- 5) В одном акте деления ядра урана  $^{235}\text{U}$  освобождается энергия 200 МэВ. Определить:  
1) энергию, выделяющуюся при делении всех ядер этого изотопа урана массой 1 кг; 2) массу каменного угля с удельной теплотой сгорания 29,3 МДж/кг, эквивалентного в тепловом отношении 1 кг урана  $^{235}\text{U}$ .

- 6) Считая, что в одном акте деления ядра урана  $^{235}\text{U}$  освобождается энергия 200 МэВ, определить массу этого изотопа, подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротильным эквивалентом  $3 \cdot 10^6$  кг, если тепловой эквивалент тротила равен 4,19 МДж/кг.
- 7) Определить энергию ядерной реакции  $^9\text{Be} (n, \gamma) ^{10}\text{B}$ , если известно, что энергия связи  $E_{\text{св.}}$  ядра  $^9\text{Be}$  равна 58,16 МэВ, а ядра  $^{10}\text{B}$  – 64,98 МэВ.

### Элементы физики элементарных частиц.

При изучении данной темы студент должен знать, что протоны и нейтроны не являются неделимыми частицами, а состоят в свою очередь из более элементарных частиц – кварков. Студент должен знать основные характеристики элементарных частиц.

#### План изучения темы:

1. Космическое излучение.
2. Типы взаимодействия элементарных частиц.
3. Частицы и античастицы.
4. Классификация элементарных частиц.
5. Кварки.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

#### Вопросы и задания для самопроверки:

- 1) Какие типы взаимодействия осуществляются в природе и как их можно охарактеризовать?
- 2) Частицы и античастицы
- 3) Приведите классификацию элементарных частиц.
- 4) Какие законы сохранения выполняются для всех типов взаимодействий элементарных частиц?
- 5) Какие характеристики являются для частиц и античастиц одинаковыми? А какие – разными?
- 6) Зачем нужна гипотеза о существовании кварков? Что объясняется с ее помощью?
- 7) При захвате протоном отрицательного мюона образуется нейтрон и еще одна частица. Запишите эту реакцию и определите, что это за частица.
- 8) Запишите схемы распада положительного и отрицательного мюонов.
- 9) Перечислите основные свойства нейтрино и антинейтрино и объясните, чем они отличаются по современным представлениям друг от друга.

### Вещество в экстремальных условиях.

При изучении данной темы студент должен понимать, что происходит с веществом, находящемся в экстремальных условиях.

#### План изучения темы:

1. Вещество при сверхвысоких температурах и плотностях.
2. Карликовые белые звезды.
3. Нейтронное состояние вещества.
4. Пульсары.
5. Вещество в сильных электромагнитных полях.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

#### Вопросы и задания для самопроверки:

1. Что такое карликовые белые звезды?
2. Опишите нейтронное состояние вещества.
3. Что такое пульсар?

### **Развитие представлений об устройстве вселенной.**

При изучении данной темы студент должен иметь представление об устройстве Вселенной на современном уровне исследований.

*План изучения темы:*

1. Научные представления древнего мира.
2. Представления эпохи Ньютона.
3. Расширение Вселенной.
4. Современные представления о возникновении и развитии вселенной.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Сформулируйте представления эпохи Ньютона об устройстве Вселенной
- 2) Что такое расширение Вселенной и как оно происходило?
- 3) Сформулируйте современные представления о возникновении и развитии Вселенной.
- 4) Определите, какой возраст будет иметь Вселенная, если величина постоянной Хаббла равна  $70 \text{ км}/(\text{с Мпс})$  ( $1 \text{ пс} = 3,26 \text{ светового года}$ ).
- 5) Оцените температуру Вселенной в момент времени, соответствующий возникновению "реликтового" излучения.

### **Современная физическая картина мира.**

При изучении данной темы студент должен иметь представление о современной физической картине мира и проблемах физики элементарных частиц.

*План изучения темы:*

1. Вещество и поле.
2. Физика элементарных частиц.
3. Кварки.
4. Гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое взаимодействия.

*Рекомендуемая литература:* 3, 7, 8, 9, 13, 18, 19–21, 23, 25, 28, 36, 38, 46, 47, 49.

*Вопросы и задания для самопроверки:*

- 1) Опишите гравитационное взаимодействие.
- 2) Опишите электромагнитное взаимодействие.
- 3) Опишите сильное взаимодействие.
- 4) Опишите слабое взаимодействие.
- 5) Переносчиками слабого взаимодействия являются тяжелые векторные бозоны. Радиус действия слабого взаимодействия не превышает  $10^{-19}$  м. Пользуясь соотношением неопределенностей и используя понятие "виртуальная частица", оцените массу частиц, являющихся переносчиком слабого взаимодействия.
- 6) Перечислите, какие величины сохраняются для процессов взаимопревращаемости элементарных частиц, обусловленных слабым и сильным взаимодействиями.
- 7) Почему понадобилось введение внутренних характеристик кварков – цвета и очарования?



