

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие предназначается студентам, изучающим дисциплину «Физика» в очень короткий промежуток учебного времени – в течение одного семестра. Особенно полезно оно студентам заочного отделения, изучающим физику практически самостоятельно: если студенты дневного отделения в течение семестра слушают 36-часовой курс лекций по физике, то заочникам читается всего 2-часовая установочная лекция и 6 часов обзорных лекций в период лабораторно-экзаменационной сессии.

В этой ситуации особенно важно правильно организовать процесс изучения дисциплины. Ведь существующие вузовские учебники по физике рассчитаны на стандартный 3-4-семестровый курс, и необходимо научиться извлекать из них главную, основополагающую информацию, чтобы получить сокращенную, но целостную картину физического устройства мира. С другой стороны, важно при этом усвоить физические законы, явления и процессы, лежащие в основе принципов действия применяемых специалистами данного направления технических устройств и приборов.

Предлагаемое пособие как раз является необходимым путеводителем, который поможет студенту сориентироваться в обширном материале и в значительной степени облегчит изучение столь сложной дисциплины.

Физика относится к разряду точных наук: её языком является математика. Т.е. практически любое утверждение, формулировка в физике имеет вид уравнения или (значительно реже) – неравенства. Основные уравнения и формулы следует знать наизусть: этими математическими образами мы начинаем мыслить и объяснять последующие закономерности и явления. Без их знания, к тому же, трудно решать задачи. А ведь задача – это маленькое научно-техническое исследование: в предлагаемых условиях задачи обстоятельствах необходимо сориентироваться, выбрать правильные законы и уравнения и получить результат. (Именно в таком ключе будет работать как специалист, так и организатор производства по окончании вуза.)

И последнее. Чтобы студент мог лучше почувствовать уровень усвоения материала, в конце каждой темы приведены вопросы для самопроверки. Зная ответы на эти вопросы, можно смело идти на экзамен.

1. Учебный план дисциплины

В соответствии с учебным планом направления 190700 –Технология транспортных процессов дисциплина «Физика» изучается во 2-м семестре 1-го курса. Учебный план дисциплины приведён в таблице 1.

Таблица 1

| Виды занятий | Дневное обучение | Заочное обучение |
|--|------------------|------------------|
| Общий объем учебных часов на дисциплину (час.) | 144 | 144 |
| Объем аудиторной нагрузки (час.) | 72 | 16 |
| Лекции (час.) | 36 | 8 |
| Практические занятия (час.) | 20 | - |
| Лабораторные занятия (час.) | 16 | 8 |
| Объем самостоятельной работы студента (час.) | 72 | 128 |
| Контрольные работы | - | 2 |
| Домашние задания | 2 | - |
| Экзамен | + | + |

Самостоятельная работа включает ряд форм, распределение часов по которым приведено в таблице 2.

Таблица 2

| Форма самостоятельной работы студента | Дневное обучение | Заочное обучение |
|---|------------------|------------------|
| Проработка теоретического материала (час.) | 26 | 86 |
| Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов (час.) | 8 | 4 |
| Подготовка в практическим занятиям и выполнение домашних заданий (час.) | 20 | - |
| Выполнение контрольных работ (час.) | - | 30 |
| Подготовка к экзамену (час.) | 18 | 8 |
| <i>ИТОГО часов СРС</i> | 72 | 128 |

2. Основные сведения о дисциплине

2.1. Цели освоения дисциплины:

- формирование целостного представления о процессах и явлениях, происходящих в природе, о фундаментальных физических законах управляющих ими, о возможностях современных методов познания природы;
- овладение базовыми знаниями по физике для освоения общепрофессиональных и специальных дисциплин.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, атомной физики;
- уметь применять физические законы для решения практических задач;
- владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; методами

решения задач механики, электричества и магнетизма, колебаний и волн, квантовой физики, термодинамики, статистической физики.

2.2. Место дисциплины в структуре образовательной программы бакалавриата

Дисциплина физика относится к математическому и естественнонаучному циклу дисциплин.

Для дисциплины физика математика является языком записи ее законов, процессов, явлений и инструментом для решения задач, анализа результатов решения и выводов. Физика логически взаимосвязана с философией, использует ее законы и подкрепляет их примерами. Являясь фундаментальной дисциплиной, физика логически и содержательно взаимосвязана с другими дисциплинами, готовит студентов к исследовательской, конструкторской и технологической деятельности, развивает способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области естественных наук и математики.

Базовыми дисциплинами для физики являются математика, прикладная математика, информатика, философия. Обучающийся должен владеть знаниями элементарного курса физики по программе среднего образования.

Освоение физики необходимо как предшествующее для последующих дисциплин образовательной программы: механика (теоретическая механика, прикладная механика), материаловедение, общая электротехника и электроника, метрология, стандартизация и сертификация, философия.

2.3. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины физика:

1. владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;
2. умение логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь;
3. готовность к кооперации с коллегами, работе в коллективе;
4. способность находить организационно - управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовность нести за них ответственность;
5. стремление к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;
6. умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
7. владение основными методами, способами и средствами получения, хранения и переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией;
8. способность приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

3. Рекомендуемая литература

Основная

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2008.
2. Камзолов С.К. Физика: Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2010.

Дополнительная

3. В.Д. Дмитриева, В.Л. Прокофьев. Основы физики. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2001.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: Пособие: Кн.1-5.-М.: Наука. Физматлит.1998-2010.

4. Электронные средства информации

1. <http://www.mstuca.ru> – информационные ресурсы - ЭУМКД
2. <http://www.ict.edu.ru/lib/>- информационно-коммуникационные технологии в образовании
3. Видеодемонстрации физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова <http://genphys.phys.msu.su/video/>
4. Учебники в формате DjVu
 - 4.1. Савельев И.В., том 1 "Механика"
http://physics.mstuca.ru/library/books/Savel'ev_1.djv
 - 4.2. Савельев И.В., том 2 "Электричество и магнетизм. Оптика"
http://physics.mstuca.ru/library/books/Savel'ev_2.djv
 - 4.3. Физика в техническом университете. Под ред. Л.К.Мартинсона, А.Н. Морозова. <http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/>
 - 4.4. Тейлор Дж. "Введение в теорию ошибок"
<http://physics.mstuca.ru/library/books/Taylor.djv>

Сайт кафедры физики МГТУ ГА <http://physics.mstuca.ru/>

Страница кафедры физики на сайте МГТУ ГА:

<http://www.mstuca.ru/r1/modules/smartsection/category.php?categoryid=52>

5. Электронный адрес кафедры физики МГТУГА: **kf@mstuca.aero**

6. Структура дисциплины

Учебная дисциплина «Физика» состоит из введения и 5-ти разделов.

Раздел 1. МЕХАНИКА: кинематика и динамика материальной точки, механика твердого тела, жидкостей и газов, механические колебания и волны.

Раздел 2. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ: электростатика и постоянный ток, магнитное поле, электродинамика, электрические колебания, электромагнитные волны, поляризация, интерференция, дифракция, дисперсия.

Раздел 3. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА: корпускулярно-волновой дуализм, основы квантовой механики, квантовая теория атома, атомное ядро, элементарные частицы, кварки.

Раздел 4. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ТЕРМОДИНАМИКИ: макроскопическое состояние вещества, 1-е начало термодинамики, энтропия, 2-е начало термодинамики, реальные газы, явления переноса.

Раздел 5. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ И ТЕОРИИ ТВЁРДОГО ТЕЛА: статистика Бозе-Эйнштейна, законы излучения, лазер, статистика Ферми-Дирака, проводники и диэлектрики, полупроводники, сверхпроводимость.

7. Учебная программа дисциплины (номера частей и тем приведены в соответствии с рабочей программой дисциплины Физика, шифр Б.2.4)

Введение

Предмет физики. Роль физики в развитии науки и техники. Структура курса физики и цели обучения. Методы физической науки: теория и эксперимент. Физические величины. Система единиц СИ. Физика и математика.

Раздел 1. МЕХАНИКА

Тема 1.1. Кинематика и динамика материальной точки

Кинематические характеристики движения. Модели физических объектов. Материальная точка. Система отсчета. Радиус-вектор материальной точки. Закон движения материальной точки. Вектор перемещения. Скорость, ускорение. Угловые кинематические характеристики.

Закон инерции. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей. Преобразования Галилея и «парадоксы» электродинамики. Постулаты специальной теории относительности.

2-й закон Ньютона и принцип недостижимости скорости света. Релятивистская масса. Кинетическая энергия, полная энергия, энергия покоя. Закон сохранения энергии. Импульс. Закон сохранения импульса. Импульс и энергия. Кинетическая энергия при малых скоростях. Изменение импульса со временем. Сила как мера взаимодействия. Уравнение Ньютона-Эйнштейна. Решение ос-

новой задачи динамики. Изменение энергии со временем. Мощность силы. Работа силы. Условия применимости классической нерелятивистской динамики. Фундаментальные и нефундаментальные взаимодействия.

Момент силы. Момент импульса и его изменение. Движение материальной точки по окружности. Момент инерции материальной точки. Закон сохранения момента импульса.

Методические указания к изучению темы 1.1

Литература: [1, §§1-10, 34-37,39,40]

Центральные вопросы темы: Закон движения материальной точки. Скорость, ускорение. Угловая скорость и ускорение. Инерциальные системы отсчета. Закон сложения скоростей. Полная и кинетическая энергия, энергия покоя. Импульс тела и его изменение, сила. Закон сохранения импульса. 2-й закон Ньютона. Работа и мощность силы. Силы в природе. Момент силы. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что такое радиус-вектор материальной точки и как он связан с её координатами?
2. Как, зная зависимость координат материальной точки от времени (закон движения), найти её скорость и ускорение?
3. Дайте определение углового перемещения тела, угловой скорости и углового ускорения.
4. Как связаны между собой угловая и линейная скорости материальной точки?
5. Чему равна скорость одного самолёта относительно другого, если известны скорости обоих самолетов относительно Земли?
6. Как определить кинетическую энергию тела, если известна его масса покоя и величина скорости, которая а) близка скорости света, б) существенно меньше скорости света?
7. Что такое импульс тела и как он изменяется, если известны величина силы, действующей на тело, и время воздействия?
8. Сформулируйте закон сохранения импульса.
9. Как мощность силы, действующей на тело, связана с его скоростью?
10. Почему работа силы, действующей на движущееся тело, равна нулю, если вектор силы перпендикулярен направлению движения тела?
11. Почему силы трения не относятся к фундаментальным?
12. Во сколько раз будут отличаться усилия при открывании двери, если тянуть за её ручку а) под углом 30° к дверному полотну и б) нормально полотну?
13. Чему равен момент импульса материальной точки при движении по окружности при заданной угловой скорости? Чему равен момент инерции материальной точки?

Тема 1.2. Механика твердого тела, жидкостей и газов

Модель абсолютно твердого тела (АТТ). Поступательное и вращательное движение АТТ. Момент импульса АТТ относительно неподвижной оси. Момент инерции. Основное уравнение динамики вращательного движения АТТ. Кинетическая энергия при вращательном движении АТТ. Работа и мощность при вращательном движении. Гироскопы. Гироскопический эффект.

Модель сплошной среды. Уравнение неразрывности. Идеальная жидкость. Уравнение Бернулли. Измерение статического и динамического давления. Движение тел в жидкостях и газах. Подъемная сила крыла. Вязкость.

Методические указания к изучению темы 1.2

Литература: [1, §§16-20, 28-33]

Центральные вопросы темы: Момент импульса АТТ. Момент инерции. Основное уравнение динамики вращательного движения. Кинетическая энергия при вращательном движении. Гироскопы. Сплошная среда, уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Подъемная сила крыла. Вязкость жидкости.

Вопросы для самоконтроля.

1. Чему равен момент импульса АТТ относительно неподвижной оси?
2. Как определить момент инерции тела относительно заданной оси?
3. В чем схожесть и различие основных уравнений поступательного движения (2-й закон Ньютона) и вращательного движения тела?
4. Чему равна кинетическая энергия цилиндра с известными радиусом и массой, вращающегося вокруг оси симметрии с заданной угловой скоростью?
5. Какое свойство гироскопа используется в автопилоте?
6. Запишите уравнение неразрывности жидкости.
7. Используя уравнение Бернулли, объясните природу подъемной силы крыла.
8. Запишите уравнение Ньютона для силы вязкого трения между слоями жидкости или газа.

Тема 1.3. Механические колебания и волны

Колебания. Гармонические колебания. Амплитуда и фаза колебаний. Пружинный маятник. Свободные незатухающие колебания. Физический и математический маятники. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.

Упругие волны. Плоская волна. Уравнение волны. Параметры волны. Стоячие волны. Свободные колебания струны и упругого стержня.

Методические указания к изучению темы 1.3

Литература: [1, §§140-142, 153-160]

Центральные вопросы темы: Уравнение гармонических колебаний. Амплитуда и фаза колебаний. Циклическая частота и период. Явление резонанса. Уравнение плоской волны. Длина волны и волновое число.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какие колебания называются гармоническими?
2. Запишите уравнение гармонических колебаний на примере пружинного маятника. Укажите в этом уравнении амплитуду и фазу.
3. Что такое циклическая частота колебаний? Как она связана с периодом?
4. Как из формулы для периода физического маятника получить период математического маятника?
5. Какой параметр колебаний резко возрастает при резонансе?
6. Запишите уравнение плоской гармонической волны.
7. Что такое волновое число и как оно связано с длиной волны?
8. При каких условиях возникают стоячие волны?
9. Дайте определения пучности и узла стоячей волны.

Раздел 2. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Тема 2.1. Электростатика и постоянный ток

Электрический заряд и его свойства. Закон Кулона. Напряженность электрического поля, принцип суперпозиции. Потенциал электрического поля. Связь между напряженностью электростатического поля и потенциалом.

Электрический диполь. Электрический момент. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков. Поле внутри диэлектрика. Пьезоэлектрический эффект.

Проводник в электрическом поле. Поле заряженного проводника. Емкость. Конденсаторы. Энергия и плотность энергии электростатического поля.

Постоянный электрический ток, его характеристики. Газ заряженных частиц в электрическом поле. Подвижность зарядов. Проводимость. Законы Ома и Джоуля-Ленца в локальной форме. Законы Ома и Джоуля-Ленца для однородного проводника. Работа и мощность тока.

Методические указания к изучению темы 2.1

Литература: [1, §§77-88]

Центральные вопросы темы: Взаимодействие заряженных тел, закон Кулона. Напряженность электрического поля. Напряженность поля точечного заряда. Принцип суперпозиции. Потенциал электрического поля. Работа поля по перемещению заряда. Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость вещества. Электростатическая индукция. Поле в проводнике. Конденсаторы. Плотность энергии электрического поля. Электрический ток. Электропроводность (проводимость). Закон Ома в локальной (дифференциальной) форме. Закон Ома для однородного проводника. Закон Джоуля-Ленца.

Вопросы для самоконтроля.

1. Сформулируйте закон сохранения заряда.

2. Используя закон Кулона, получите выражение для напряженности поля, создаваемого точечным зарядом.
3. Чему равна сила, действующая на заряд q в электрическом поле напряженностью E ?
4. Чему равна работа электрического поля при перемещении заряда q между точками поля с разностью потенциалов $\Delta\varphi$?
5. Как и за счет чего изменяется электрическое поле в диэлектрике?
6. В чем заключается явление электростатической индукции?
7. Чему равна напряженность электрического поля внутри проводника?
8. Как связан потенциал проводника с его зарядом?
9. Как изменится емкость конденсатора, если между его обкладками поместить диэлектрик?
10. Чему равна объёмная плотность энергии электрического поля?
11. Что такое скорость дрейфа заряженных частиц в электрическом поле и как она связана с напряженностью поля?
12. Как связана плотность тока в проводящей среде с напряженностью электрического поля, вызвавшего этот ток?
13. Сформулируйте законы Ома и Джоуля-Ленца для однородного проводника.

Тема 2.2. Магнитное поле. Электродинамика

Магнитное поле. Магнитная индукция. Сила Лоренца. Закон Ампера. Магнитное поле стационарных токов. Закон Био-Савара-Лапласа.

Магнитный момент кругового тока. Контур с током в магнитном поле. Понятие о магнитных моментах элементарных частиц и атомов. Молекулы в магнитном поле. Магнитная восприимчивость. Парамагнетики и диамагнетики. Вектор намагниченности. Магнитная проницаемость вещества. Напряженность магнитного поля. Ферромагнетизм. Явление магнитного гистерезиса.

Закон Фарадея-Ленца. Правило Ленца. Возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике. Электромагнитная индукция. Генератор переменного тока. Токи Фуко. Индуктивность. Явление самоиндукции. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

Закон электромагнитной индукции в формулировке Максвелла. Вихревое электрическое поле. Магнитоэлектрическая индукция. Уравнения Максвелла.

Методические указания к изучению темы 2.2

Литература: [1, §§109-111, 114-115, 131-133, 135-136]

Центральные вопросы темы: Магнитная индукция. Сила Лоренца. Сила Ампера. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитный момент. Парамагнетики. Диамагнетики. Магнитная проницаемость. Ферромагнетизм. Электромагнитная индукция. Явление самоиндукции. Энергия магнитного поля. Уравнения Максвелла.

Вопросы для самоконтроля.

1. Почему сила Лоренца, действующая на движущееся заряженное тело, не увеличивает его кинетическую энергию?
2. Объясните природу силы Ампера.
3. Как, используя закон Био-Савара-Лапласа, рассчитать магнитную индукцию в центре кругового тока?
4. Как магнитное поле воздействует на замкнутый контур с током?
5. Объясните природу парамагнетизма.
6. Как изменяется магнитное поле при помещении в него диамагнетика?
7. Каков порядок величины магнитной восприимчивости железа? Почему железная отвёртка после контакта с магнитом тоже становится магнитом?
8. Почему между концами крыльев самолета при полете в магнитном поле Земли возникает напряжение? Как рассчитать величину этого напряжения?
9. Опишите принцип действия электрогенератора.
10. Почему железный сердечник трансформатора не отливают сплошным, а набирают из тонких пластин?
11. Почему радиоприёмник не мгновенно прекращает вещание после отключения электропитания?
12. Как связана объемная плотность магнитной энергии с магнитной индукцией?
13. Объясните природу возникновения вихревого электрического поля.
14. Какие законы природы описывают уравнения Максвелла?

Тема 2.3. Электрические колебания. Электромагнитные волны

Электрический колебательный контур. Период колебаний. Затухающие и вынужденные колебания. Резонанс. Переменный ток. Полное сопротивление цепи. Реактивное сопротивление.

Волновое уравнение. Плоская электромагнитная волна. Энергия и импульс плоской электромагнитной волны. Вектор Пойнтинга.

Естественный и поляризованный свет. Поляризация при отражении и преломлении. Двойное лучепреломление. Вращение плоскости поляризации.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера от щели. Дифракционная решетка.

Показатель преломления. Дисперсия. Поглощение и отражение электромагнитных волн. Группы волн. Групповая и фазовая скорости.

Методические указания к изучению темы 2.3

Литература: [1, §§143, 146-149, 161-163]

Центральные вопросы темы: Период колебаний в электрическом контуре. Активное и реактивное сопротивление. Уравнение плоской электромагнитной волны. Энергия и импульс волны. Явление поляризации. Интерференция. Дифракция. Электронная теория дисперсии.

Вопросы для самоконтроля.

1. Из каких элементов состоит электрический колебательный контур? Колебания каких параметров в нём происходят?
2. Чему равен период колебаний в контуре без сопротивления?
3. Почему в цепи, содержащей конденсатор, может протекать переменный ток? Что такое активное и реактивное сопротивление?
4. Как из уравнения плоской электромагнитной волны извлечь информацию о её длине и периоде колебаний?
5. Как импульс электромагнитной волны связан с волновым числом? С длиной волны?
6. Чем поляризованный свет отличается от естественного?
7. Сформулируйте закон Брюстера.
8. При каком условии в точке наблюдения при интерференции от двух когерентных источников интенсивность света максимально усиливается?
9. Почему дифракционная решетка является спектральным прибором?
10. Объясните эффект «замедления» электромагнитной волны при прохождении ею прозрачного вещества.
11. Почему в области нормальной дисперсии групповая скорость волнового пакета меньше фазовой?

Раздел 3. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА. АТОМНОЕ ЯДРО**Тема 3.1. Основы квантовой механики**

Эволюция взглядов на природу света. Фотоэффект. Фотоны. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де-Бройля. Опытные факты в доказательство волновых свойств вещества. Уравнение Шрёдингера. Волновая функция, ее статистический смысл. Линейный гармонический осциллятор. Энергия нулевых колебаний.

Методические указания к изучению темы 3.1

Литература: [1, §§202-207, 213-216, 222]

Центральные вопросы темы: Явление фотоэффекта. Фотоны. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Волна де-Бройля. Уравнение Шрёдингера. Статистический смысл волновой функции. Нулевые колебания квантового осциллятора.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что такое фотон?
2. Чему равна масса фотона?
3. Как, зная частоту света, падающего на металл с известной работой выхода электронов, определить скорость вылетающих в результате фотоэффекта электронов?
4. Что такое волна де-Бройля?

5. Что даёт решение уравнения Шрёдингера для частицы? Какие ограничения накладываются при этом на значения её энергии?

6. Достигается ли полная неподвижность атомов в кристалле при его охлаждении до абсолютного нуля температуры?

Тема 3.2. Квантовая теория атома

Спектр излучения атома водорода. Боровская теория атома водорода. Уравнение Шрёдингера для атома водорода. Квантовые числа. Волновая функция для основного состояния. Орбитальный момент электрона в атоме. Магнитный момент.

Спин электрона. Спин элементарных частиц и атомных ядер. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Периодический закон Менделеева. Объяснение химических свойств элементов в квантовой теории.

Методические указания к изучению темы 3.2

Литература: [1, §§208-212, 223-228]

Центральные вопросы темы: Линейчатый спектр излучения атома водорода. Постулаты Бора. Квантование энергии электрона в атоме. Уравнение Шрёдингера для атома водорода. Квантование момента импульса и магнитного момента. Спин. Спиновое квантовое число. Принцип Паули. Построение электронных оболочек в атомах химических элементов.

Вопросы для самоконтроля.

1. Сформулируйте постулаты Бора.
2. Какое условие для допустимых значений энергии электрона в атоме вытекает из уравнения Шрёдингера?
3. Перечислите квантовые числа, описывающие состояние электрона в атоме.
4. Что такое спин электрона?
5. Дайте формулировку принципа Паули.
6. Почему следом друг за другом по номеру в таблице Менделеева фтор, неон и натрий радикально отличаются своими химическими свойствами?

Тема 3.3. Атомное ядро. Элементарные частицы. Кварки

Строение ядра, размеры ядер, модели ядра. Ядерные силы. Энергия связи. Радиоактивность. Деление ядер. Ядерные реакторы. Реакция синтеза ядер. Термоядерные реакции.

Классификация элементарных частиц. Квантовые числа элементарных частиц, частицы и античастицы. Кварки и их квантовые числа.

Методические указания к изучению темы 3.3

Литература: [1, §§251-259, 262-275]

Центральные вопросы темы: Протоны и нейтроны. Ядерные силы. Энергия связи. Виды радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Ядерные ре-

акции деления и синтеза. Устройство ядерного реактора. Элементарные частицы. Кварки.

Вопросы для самоконтроля.

1. Из каких частиц состоит ядро атома?
2. Какие силы удерживают нуклоны в ядре атома?
3. Как энергия связи ядра связана с его дефектом массы?
4. Какие виды радиоактивности Вы знаете?
5. На чем основан принцип цепной ядерной реакции деления?
6. Какую роль в ядерном реакторе играет замедлитель?
7. В чем заключается основная проблема создания термоядерного реактора?
8. Какие элементарные частицы относят к классу лептонов? Барионов? Гиперонов?
9. Из каких кварков состоит протон? Нейтрон?
10. Что такое цвет кварка и почему было введено это квантовое число?

Раздел 4. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Тема 4.1. Макроскопическое состояние вещества. 1-е начало термодинамики

Макросистема и методы ее описания. Микропараметры и макропараметры системы. Контакты систем. Температура. Тепловое равновесие. Уравнение состояния. Модель идеального газа. Равновесные процессы. Изопроцессы. Работа. Внутренняя энергия. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Теплота. 1-е начало термодинамики. Теплоемкость идеального газа. Соотношение Майера. Зависимость теплоемкости многоатомного газа от температуры. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Работа при адиабатическом процессе.

Методические указания к изучению темы 4.1

Литература: [1, §§41-47, 50-55]

Центральные вопросы темы: Микропараметры и макропараметры макросистемы. Идеальный газ. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Изопроцессы. Работа. Внутренняя энергия. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Теплота. 1-е начало термодинамики. Теплоемкость идеального газа при постоянном объеме и постоянном давлении. Зависимость теплоемкости двухатомного газа от температуры. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что описывают микропараметры и макропараметры термодинамической системы?

2. Со средним значением какого микропараметра связана температура системы?
3. Напишите уравнение состояния идеального газа.
4. Изобразите в pV -координатах известные Вам изопроцессы.
5. Запишите в общем виде выражение для работы, совершаемой газом.
6. Что такое внутренняя энергия идеального газа?
7. Сколько степеней свободы у молекулы двухатомного газа? Какая энергия приходится на каждую степень свободы?
8. Почему 1-е начало термодинамики называют законом сохранения энергии для термодинамических процессов?
9. Почему отличаются по величине теплоёмкости газа при постоянном давлении и постоянном объёме?
10. Объясните зависимость теплоёмкости многоатомного газа от температуры.
11. Что такое адиабатический процесс и как его изобразить в pV -координатах?

Тема 4.2. Энтропия. Второе начало термодинамики. Реальные газы

Распределение Максвелла. Экспериментальная проверка закона распределения Максвелла. Средняя, средняя квадратичная и наиболее вероятная скорости молекул. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.

Макросостояние и микросостояние системы. Основной постулат статистической физики. Статистический вес. Энтропия системы. Закон возрастания энтропии. Энтропия и температура. Энтропия и теплота.

Циклы. Работа цикла. 2-е начало термодинамики. К.п.д. цикла. Цикл Карно.

Явления переноса. Диффузия, теплопроводность, вязкость.

Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Конденсация реального газа. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Дырочная модель жидкости. Энергия активации.

Методические указания к изучению темы 4.2

Литература: [1, §§46, 48, 56-59, 60-62, 65, 75]

Центральные вопросы темы: Распределение Максвелла. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Макросостояние и микросостояние системы. Статистический вес. Энтропия системы. Закон возрастания энтропии. Энтропия и температура. Энтропия и теплота. Циклы. 2-е начало термодинамики. К.п.д. цикла. К.п.д. цикла Карно. Явления переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость.

Модель реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Дырочная модель жидкости. Энергия активации.

Вопросы для самоконтроля.

1. Объясните физический смысл функции распределения Максвелла.
2. Как зависит атмосферное давление от высоты над поверхностью Земли?

3. Что описывает распределение Больцмана?
4. Что определяет статистический вес системы частиц?
5. Чем энтропия удобнее статистического веса при описании состояния системы частиц, его изменения и процессов при контакте систем?
6. Сформулируйте закон возрастания энтропии.
7. Как энтропия системы частиц связана с ее температурой и теплотой, которой система обменивается с окружающей средой?
8. В каких устройствах реализуются циклические термодинамические процессы?
9. Из каких процессов состоит цикл Карно?
10. Что такое к.п.д. цикла, и какова его формула для цикла Карно?
11. Что такое диффузия? Теплопроводность?
12. Почему вязкость называют явлением переноса импульса?
13. В чем отличие изотермы Ван-дер-Ваальса от изотермы Бойля-Мариотта?

Раздел 5. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ И ТЕОРИИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Тема 5.1. Статистика Бозе-Эйнштейна

Диффузионный контакт систем. Химический потенциал. Модели поведения частиц в системе. Типы статистик. Распределение Бозе-Эйнштейна. Абсолютно черное тело. Распределение Планка. Закон излучения Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Оптическая пирометрия.

Поглощение фотонов атомами. Спонтанное и вынужденное излучения. Принцип детального равновесия. Лазеры. Процесс генерации. Создание инверсной населенности. Накачка.

Методические указания к изучению темы 5.1

Литература: [1, §§226, 232-233, 235]

Центральные вопросы темы: Модели поведения частиц в системе. Типы статистик. Распределение Бозе-Эйнштейна. Абсолютно черное тело. Распределение Планка. Закон излучения Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Спонтанное и вынужденное излучения атомов. Инверсная населённость. Принцип работы лазера.

Вопросы для самоконтроля.

1. В чем различие бозонов и фермионов?
2. Нарисуйте приблизительный график распределения энергии излучения абсолютно черного тела по частоте.
3. Как интегральная энергия излучения абсолютно черного тела зависит от температуры?
4. Куда по шкале длин волн смещается максимум излучения абсолютно черного тела?
5. Чем обосновано предположение Эйнштейна о существовании вынужденного излучения атомов?

6. Чем отличается среда с инверсной населённостью уровней от естественной?
7. Поясните механизм усиления излучения в среде с инверсной населённостью уровней?
8. Перечислите основные свойства лазерного излучения.

Тема 5.2. Статистика Ферми-Дирака

Фермионы. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Распределение электронов по квантовым состояниям в металле. Энергетические зоны. Проводники и диэлектрики. Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Внутренний фотоэффект.

Сверхпроводимость. Природа сверхпроводимости.

Методические указания к изучению темы 5.2

Литература: [1, §§235-236, 238-244]

Центральные вопросы темы: Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Энергетические зоны. Проводники и диэлектрики. Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Внутренний фотоэффект. Природа сверхпроводимости.

Вопросы для самоконтроля.

1. Как заполняются разрешенные энергетические уровни электронами в металле при нулевой температуре? Что такое энергия Ферми?
2. Как из энергетических уровней атомов формируются энергетические зоны в кристалле? Что такое запрещенная зона?
3. Что такое валентная зона и зона проводимости?
4. Как заполнена валентная зона в диэлектрике и проводнике?
5. Чем полупроводник отличается от диэлектрика с точки зрения зонной теории?
6. Как зависит собственная проводимость полупроводника от температуры, и почему в электронных устройствах применяются преимущественно примесные полупроводники?
8. Каким образом фоторезистор изменяет свое сопротивление под действием электромагнитного излучения?
9. Что такое сверхпроводимость, и какова её природа?

8. Терминология (понятийный аппарат) дисциплины. Основные соотношения и формулы

В данном разделе приведены основные термины (обозначены *курсивом*) и определения, которыми должен овладеть студент. Большинство из них сопровождается комментариями и математическими формулировками.

Тема 1.1

Положение *материальной точки* в пространстве задается *радиус-вектором*

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

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы направлений (орты); x, y, z – координаты точки.

Закон движения материальной точки в координатной форме:

$$x = f_1(t); y = f_2(t); z = f_3(t), \text{ где } t \text{ – время.}$$

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

где $v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt}; v_z = \frac{dz}{dt}$ – проекции скорости \vec{v} на оси координат.

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

Ускорение
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Угловая скорость $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$, *угловое ускорение* $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$

Закон сложения скоростей:
$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V},$$

где v и v' – скорости тела, соответственно, в неподвижной и движущейся системах отсчета, V – скорость системы отсчета.

Уравнение движения материальной точки (второй закон Ньютона):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i, \text{ или } m\vec{a} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i,$$

где $\sum_{i=1}^N \vec{F}_i$ – геометрическая сумма *сил*, действующих на материальную точку;

m – её масса; a – ускорение; $\vec{p} = m\vec{v}$ – *импульс*.

Закон сохранения импульса для замкнутой системы:

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \text{const},$$

где N – число материальных точек (или тел), входящих в систему.

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно:

$$T = \frac{mv^2}{2} \quad \text{или} \quad T = \frac{p^2}{2m}.$$

Потенциальная энергия тела, находящегося в однородном поле силы тяжести:

$$\Pi = mgh,$$

где h – высота, на которой находится центр тяжести тела, относительно уровня, принятого за нулевой. Эта формула справедлива при условии $h \ll R$, где R – радиус Земли (или другой планеты).

Мощность силы $N = \vec{F} \cdot \vec{v}$, *работа* силы $A = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r}$.

Момент силы $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$. По модулю $M = F h$, где h – плечо силы.

Момент инерции относительно оси z :

а) материальной точки

$$I_z = mr^2,$$

где m – масса точки; r – расстояние ее от оси z ;

б) системы материальных точек (в том числе – абсолютно твердого тела):

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

где m_i – масса i -го элемента тела, который можно считать материальной точкой; r_i – расстояние этого элемента от оси z ; N – число элементов тела.

Момент импульса материальной точки

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p}.$$

При её движении по окружности: $l = r p = mvr$.

Тема 1.2

Абсолютно твёрдое тело (АТТ). Момент импульса АТТ относительно главной оси инерции

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{l} = I\vec{\omega}.$$

Основное уравнение динамики вращательного движения АТТ:

$$I\vec{\omega} = \sum_{i=1}^N \vec{M}_i .$$

Кинетическая энергия при вращательном движении АТТ:

$$T_{\text{вр}} = \frac{I\omega^2}{2} .$$

Гироскоп.

Сплошная среда. Трубка тока. Уравнение неразрывности:

$$\rho v S = \text{const} ,$$

где ρ – плотность жидкости или газа, S – площадь сечения трубки тока.

Идеальная жидкость. Уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const} .$$

Тема 1.3

Уравнение гармонических колебаний:

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

где A – амплитуда колеблющейся величины, ω – циклическая частота, φ_0 – начальная фаза.

Связь периода колебаний с циклической частотой: $T = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Уравнение бегущей волны:

$$\xi = A \sin(\omega t - kx),$$

где ξ – смещение колеблющейся частицы относительно положения равновесия,

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, λ – длина волны.

Тема 2.1

Напряженность электрического поля E – силовая характеристика электрического поля. При этом сила, действующая на точечный заряд q , помещенный в данную точку электрического поля:

$$\vec{F} = q\vec{E} .$$

Принцип суперпозиции (наложения) электрических полей: напряженность результирующего поля, создаваемого в данной точке пространства системой зарядов, равна векторной (геометрической) сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n .$$

Потенциал электрического поля есть величина, равная отношению потенциальной энергии Π пробного точечного положительного заряда $q_{пр}$, помещенного в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{\Pi}{q_{пр}}.$$

Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда q из точки поля, имеющей потенциал φ_1 , в другую точку, имеющую потенциал φ_2 :

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

где $U = \varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов (*напряжение*) между этими точками.

Связь *напряженности* и *напряжения* между двумя точками однородного электрического поля, лежащими на прямой, совпадающей с силовой линией поля:

$$E = \frac{U}{d}, \text{ где } d \text{ – расстояние между этими точками.}$$

Сила тока определяет электрический заряд, переносимый через заданную площадку в единицу времени:

$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

Плотность тока j в проводнике площадью сечения S : $j = \frac{I}{S}$.

Закон Ома в дифференциальной (локальной) форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

где E – напряженность электрического поля; σ – *удельная проводимость* проводника – величина, обратно пропорциональная *удельному сопротивлению*:

$$\sigma = 1/\rho.$$

Закон Ома для однородного проводника сопротивлением R :

$$U = IR.$$

Закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме:

$$w = \sigma E^2,$$

где w – *объемная плотность мощности тепловыделения* в проводнике.

Тема 2.2

Магнитная индукция. Сила, действующая на заряд q , движущийся со скоростью v в магнитном поле с индукцией B (*сила Лоренца*), выражается формулой:

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B},$$

или по модулю:

$$F_L = q v B \sin \alpha,$$

где α – угол, образованный вектором скорости движущейся частицы и вектором индукции магнитного поля.

На элемент $d\vec{l}$ проводника с током I в магнитном поле действует сила Ампера:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B},$$

Для прямого проводника длиной l эта сила равна по модулю:

$$F = I B l \sin \alpha,$$

где α – угол между проводником и вектором магнитной индукции \vec{B} .

Закон Био – Савара – Лапласа определяет магнитную индукцию поля, создаваемого элементом $d\vec{l}$ проводника с током I :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от элемента проводника к точке, магнитная индукция в которой определяется.

Принцип суперпозиции магнитных полей: магнитная индукция результирующего поля равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей, т. е.

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i.$$

Магнитный момент контура с током I : $\vec{p}_m = I S \vec{n}$, где S – площадь внутри контура, \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности контура.

Парамагнетики и диамагнетики. Магнитная проницаемость. Ферромагнетизм.

Явление электромагнитной индукции. ЭДС индукции:

$$\xi_u = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где Φ – магнитный поток через контур.

Электродвижущая сила *самоиндукции*, возникающая в замкнутом контуре при изменении силы тока в нем:

$$\xi_c = -L \frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность контура.

Магнитоэлектрическая индукция. Вихревое электрическое поле.

Тема 2.3

Период колебаний в электрическом колебательном контуре без сопротивления (формула Томсона):

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность катушки, а C – электроёмкость конденсатора.

Амплитуда *затухающих колебаний* в колебательном контуре с сопротивлением:

$$A = A_0 e^{-\beta t},$$

где A_0 – начальная амплитуда, β – коэффициент затухания.

Логарифмический декремент затухания связан с периодом колебаний:

$$\lambda = \beta T.$$

Вынужденные колебания. Резонанс.

Полное сопротивление цепи переменного тока:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

где R – активное сопротивление, $X = R_L - R_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ – *реактивное сопротивление*.

Уравнение *плоской электромагнитной волны* (для напряженности E электрического поля волны):

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx),$$

где E_0 – амплитуда напряженности, ω – *циклическая частота*, k – *волновое число*.

Энергия и импульс плоской электромагнитной волны. *Вектор Пойнтинга*:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H},$$

где H – *напряженность* магнитного поля.

Естественный и поляризованный свет. Поляризация при отражении и преломлении. *Закон Брюстера*:

$$\operatorname{tg} i_{Br} = n_{21},$$

где i_{Br} – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована (угол Брюстера); n_{21} – относительный показатель преломления.

Закон Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света на входе в поляризатор, I – интенсивность на выходе из поляризатора, α – угол между плоскостью колебаний светового вектора на входе и плоскостью пропускания поляризатора.

Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами определяется соотношениями:

а) в твердых телах

$$\varphi = \alpha d,$$

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в чистых жидкостях

$$\varphi = [\alpha] \rho d,$$

где $[\alpha]$ – удельная постоянная вращения; ρ – плотность жидкости;

в) в растворах

$$\varphi = [\alpha] C d,$$

где C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Оптическая длина пути световой волны $L = n l$, где l – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух световых волн $\Delta = L_1 - L_2$.

Условие максимума интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Условие минимума интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = \pm (2m + 1) (\lambda/2).$$

Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера от щели. Дифракционная решетка.

Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей. Условие минимума интенсивности света:

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

где a – ширина щели; φ – угол дифракции; m – номер минимума; λ – длина волны.

Условие максимума интенсивности света:

$$a \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей. Условие главных максимумов интенсивности:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

где d – период (постоянная) решетки; m – номер главного максимума.

Тема 3.1

Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + T_{\text{max}},$$

где $\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла; T_{max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

В случае, если энергия фотона много больше работы выхода ($h\nu \gg A_{\text{вых}}$),

$$h\nu = T_{\text{max}}, \quad \text{или} \quad \hbar\omega = T_{\text{max}}.$$

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона в двух случаях (нерелятивистском и релятивистском) выражается различными формулами:

а) если фотоэффект вызван фотоном, имеющим незначительную энергию ($\hbar\omega \leq 5 \text{ кэВ}$), то

$$T_{\max} = \frac{m_0 v_{\max}^2}{2},$$

где m_0 – масса покоя электрона;

б) если фотоэффект вызван фотоном, обладающим большой энергией ($\hbar\omega \gg 5 \text{ кэВ}$), то

$$T_{\max} = (m - m_0)c^2,$$

где m_0 – масса покоя электрона, m – его релятивистская масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_{\max}^2}{c^2}}}.$$

Красная граница фотоэффекта – граничная длина волны электромагнитного излучения, т.е. максимальная длина волны, при которой еще возможен фотоэффект:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}, \quad \text{или} \quad \nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}, \quad \omega_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{\hbar},$$

где ν_0 и ω_0 – минимальные частота и циклическая частота излучения, при которых возможен фотоэффект.

Тема 3.2

Гипотеза де-Бройля. Волна де-Бройля

$$\lambda_B = \frac{h}{p},$$

где p – импульс частицы.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}.$$

Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0,$$

где m – масса частицы, E – её полная энергия, U – потенциальная энергия; ψ – волновая функция, описывающая состояние частицы в квантовой механике.

Уравнение Шрёдингера для линейного гармонического осциллятора:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0,$$

имеет решение при условии квантования энергии:

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega,$$

где ω – частота колебаний, n – квантовое число, принимающее целочисленные значения ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Энергия E_n электрона в атоме водорода квантуется, т.е. может принимать только дискретный ряд значений:

$$E_n = -\frac{k^2 m e^4}{2 \hbar^2 n^2},$$

где m и e – масса и заряд электрона, \hbar – постоянная Планка, n – главное квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$), k – электрическая константа, равная:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}.$$

Состояние электрона в атоме описывает ψ – функция, которая в сферической системе координат (r, θ, φ) имеет вид:

$$\psi = \psi_{n,l,m}(r, \theta, \varphi)$$

и содержит три целочисленных параметра – квантовые числа n, l, m (главное, орбитальное, магнитное), которые могут принимать следующие значения:

$$n = 1, 2, 3, \dots, \infty; \quad l = 0, 1, 2, \dots, n-1; \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l.$$

В атомной физике принята система условных обозначений состояния электрона с различными значениями орбитального квантового числа l :

| | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Квантовое число l | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Состояние | s | p | d | f | g | h | i | k |

Электрон обладает также собственным моментом импульса – спином L_s , проекция которого на физически выделенную ось z также квантуется:

$$L_{sz} = m_s \hbar,$$

где $m_s = \pm s$, $s = 1/2$ – спиновое квантовое число.

Частицы, обладающие полуцелым значением спинового числа ($1/2, 3/2, 5/2, \dots$) подчиняются *принципу Паули*: в одном и том же атоме (или какой-либо другой квантовой системе) не может быть двух и более электронов (либо других частиц с полуцелым спином), обладающих одинаковой совокупностью квантовых чисел.

Тема 3.3

Нуклоны: протоны и нейтроны. Ядерные силы. Энергия связи ядра прямо пропорциональна дефекту массы:

$$E_{cb} = c^2 \Delta m,$$

где c – скорость света в вакууме.

Дефект массы Δm атомного ядра есть разность между суммой масс свободных протонов и нейтронов и массой образовавшегося из них ядра:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}},$$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); m_p и m_n – массы протона и нейтрона соответственно; $m_{\text{я}}$ – масса ядра. При этом число нейтронов $N = (A - Z)$, где A – массовое число (число нуклонов в ядре).

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N – число нераспавшихся атомов в момент времени t ; N_0 – число нераспавшихся атомов в момент, принятый за начальный ($t = 0$); e – основание натуральных логарифмов; λ – *постоянная радиоактивного распада*.

Период полураспада $T_{1/2}$ – промежуток времени, за который число нераспавшихся атомов уменьшается в два раза. Период полураспада связан с постоянной распада соотношением:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda.$$

Деление ядер. Ядерные реакторы. Реакция синтеза ядер. Термоядерные реакции.

Элементарные частицы. Кварки и их квантовые числа.

Тема 4.1

Количество вещества, содержащегося в теле (системе):

$$\nu = \frac{N}{N_A},$$

где N – число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.п.), составляющих тело (систему); N_A – число Авогадро:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}.$$

Молярная масса вещества: $\mu = \frac{M}{\nu},$

где M – масса однородного тела (системы); ν – количество вещества.

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона):

$$pV = \frac{M}{\mu} RT,$$

где p – давление газа; V – его объём; M – масса газа; μ – его молярная масса; T – термодинамическая температура; R – универсальная газовая постоянная: $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$.

Теплоемкость тела (системы):

$$C = \frac{\delta Q}{dT},$$

где δQ – получаемое телом (системой) элементарное количество теплоты, вызывающее повышение его температуры на величину dT .

Молярная теплоемкость: $c_\mu = \frac{\delta Q}{\nu dT}$, где $\nu = \frac{M}{\mu}$ – количество вещества, M – его масса, μ – молярная масса.

Удельная теплоемкость вещества и её связь с молярной теплоемкостью c_μ :

$$c_{уд} = \frac{\delta Q}{M dT} = \frac{\delta Q}{\mu \nu dT} = \frac{c_\mu}{\mu}.$$

Молярные теплоемкости идеального газа при постоянном объеме и постоянном давлении соответственно равны:

$$c_V = \frac{i}{2} R; \quad c_p = \frac{i+2}{2} R,$$

где i – число степеней свободы молекулы газа, R – универсальная газовая постоянная.

Уравнение Майера: $c_p - c_V = R$.

Первое начало термодинамики в общем случае записывается в виде:

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

где Q – количество теплоты, сообщенное газу; ΔU – изменение его внутренней энергии; A – работа, совершаемая газом против внешних сил. Или в дифференциальной форме:

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = N \langle \varepsilon \rangle \quad \text{или} \quad U = \nu c_V T,$$

где $\langle \varepsilon \rangle$ – средняя кинетическая энергия молекулы газа; N – число молекул газа; ν – количество вещества.

Работа, совершаемая газом, в общем случае вычисляется по формуле:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV,$$

где V_1 – начальный объем газа; V_2 – его конечный объем.

Работа газа при *изохорическом* процессе ($V = \text{const}$) равна нулю:

$$A_V = 0;$$

при *изобарическом* процессе ($p = \text{const}$):

$$A_p = p (V_2 - V_1);$$

при *изотермическом* процессе ($T = \text{const}$):

$$A_T = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Уравнение Пуассона для *адиабатического* процесса:

$$pV^\gamma = \text{const}.$$

Показатель адиабаты:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i},$$

где i – число степеней свободы молекулы газа.

Тема 4.2

Распределение Максвелла (распределение молекул по скоростям). Доля числа молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v+dv$:

$$\frac{dN(v)}{N} = f(v)dv = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv,$$

где $f(v)$ – функция распределения молекул по модулям скоростей, выражающая отношение вероятности того, что скорость молекулы лежит в указанном интервале, к величине этого интервала; N – общее число молекул; m – масса молекулы.

Барометрическая формула (распределение давления в однородном поле силы тяжести)

$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \text{ или } p = p_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}},$$

где p – давление газа; m – масса частицы; μ – молярная масса; h – координата (высота) точки по отношению к уровню, принятому за нулевой; p_0 – давление на этом уровне; g – ускорение свободного падения; R – молярная газовая постоянная.

Распределение Больцмана (распределение частиц в силовом поле):

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}},$$

где n – концентрация частиц; U – их потенциальная энергия; n_0 – концентрация частиц в точках поля, где $U = 0$; k – постоянная Больцмана; T – температура.

Макросостояние и микросостояние системы. Статистический вес Ω – число микросостояний, при которых реализуется данное макросостояние.

Энтропия системы. Формула Больцмана для энтропии:

$$S = k \ln \Omega,$$

где k – постоянная Больцмана.

Закон возрастания энтропии: в изолированной системе $dS \geq 0$. Приращение энтропии при сообщении системе бесконечно малого количества теплоты δQ при температуре T :

$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

Термический коэффициент полезного действия тепловой машины (КПД цикла) в общем случае равен:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом (газом) от *нагревателя*; A – работа, совершаемой газом за цикл; Q_2 – количество теплоты, переданное рабочим телом *холодильнику*.

КПД цикла Карно:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

где T_1 – температура нагревателя; T_2 – температура холодильника.

Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = \frac{M}{\mu}RT,$$

где a и b – константы Ван-дер-Ваальса.

Закон Ньютона для *вязкого трения*:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} S,$$

где F – сила внутреннего трения между движущимися с разными скоростями слоями жидкости или газа, S – площадь слоёв, $\frac{dv}{dz}$ – градиент скорости жидкости, η – *коэффициент вязкости*.

Закон Фурье для *теплопроводности*:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} S \Delta t,$$

где Q – теплота, прошедшая посредством теплопроводности через сечение площадью S за время Δt ; λ – *коэффициент теплопроводности*; $\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры.

Закон Фика для *диффузии*:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} S \Delta t,$$

где M – масса вещества, перенесенная в результате диффузии через поверхность площадью S за время Δt ; D – *коэффициент диффузии*; $\frac{d\rho}{dx}$ – градиент плотности вещества.

Тема 5.1

Химический потенциал системы определяет изменение её энтропии S , связанное с изменением числа N частиц в системе, при условии её неизменных энергии и объема:

$$\mu = -T \frac{\partial S}{\partial N},$$

где T – температура системы.

Бозоны подчиняются *принципу Паули*. *Распределение Бозе-Эйнштейна* определяет среднее число бозонов с энергией ε_n :

$$\langle N_n \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_n - \mu}{kT}} - 1}.$$

Число фотонов данной частоты ν в термостате при условии теплового равновесия определяется *распределением Планка*:

$$\langle N_\nu \rangle = \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Спектральная плотность энергетической светимости *абсолютно черного тела* (мощность излучения с 1 м^2 поверхности, приходящаяся на единичный интервал частот) описывается *законом излучения Планка*:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Закон Стефана-Больцмана определяет интегральное излучение абсолютно черного тела:

$$R = \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура.

Спонтанное и вынужденное излучения атомов и молекул. *Инверсная населённость* уровней энергии. *Лазеры*.

Тема 5.2

Фермионы подчиняются *принципу Паули*. *Распределение Ферми-Дирака*: среднее число фермионов, находящихся в данном квантовом состоянии,

$$\langle N_n \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_n - \mu}{kT}} + 1},$$

где ε_n – энергия частицы в данном состоянии, μ – химический потенциал. При нулевой абсолютной температуре химический потенциал фермионов равен их *энергии Ферми* (энергии верхнего заполненного частицами *энергетического уровня*).

Энергетические уровни в атоме и *энергетические зоны* в кристалле. *Проводники* и *диэлектрики*. *Полупроводники*. *Собственная* и *примесная* проводимость полупроводников. *Внутренний фотоэффект*.

Сверхпроводимость.

9. Лабораторные занятия (тематика и объём в часах)

Каждый студент дневного отделения выполняет 4, а заочного отделения – 2 (помечены звёздочкой) фронтально-тематические лабораторные работы продолжительностью 4 часа каждая, по индивидуальному графику.

ЛР-1*. М-4. Изучение кинематических характеристик движения (маятник Обербека).

ЛР-2. ЭМ-1. Изучение электростатического поля заряженных тел.

ЛР-3*. КМ-3. Атом водорода.

ЛР-4. СТ-3. Исследование вязкости воздуха капиллярным методом Пуазейля.

10. Курсовые задания

Каждый студент дневного отделения в течение семестра выполняет 2 контрольных домашних задания (КДЗ), студент заочного отделения – 2 контрольные работы (КР) по литературе [2].

КДЗ 1 (КР 1). Механика материальной точки, твердого тела и сплошной среды. Электричество.

КДЗ 2 (КР 2). Магнетизм. Электродинамика. Электромагнитные волны. Квантовая механика. Молекулярная физика и термодинамика.

Цель курсовых заданий:

- закрепление теоретического материала, пройденного в процессе изучения дисциплины;

- овладение первичными навыками теоретического исследования и инженерных расчетов.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. Учебный план | 4 |
| 2. Основные сведения о дисциплине..... | 4 |
| 3. Рекомендуемая литература | 6 |
| 4. Электронные средства информации | 6 |
| 5. Электронный адрес кафедры физики МГТУГА | 6 |
| 6. Структура дисциплины..... | 7 |
| 7. Учебная программа дисциплины..... | 7 |
| 8. Терминология (понятийный аппарат) дисциплины | 19 |
| 9. Лабораторные занятия | 33 |
| 10. Курсовые задания..... | 33 |