

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета РТЭ  Небольсин В.А.  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Теоретическая физика»

Направление подготовки 16.03.01 Техническая физика

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /Янченко Л.И./

И.о. заведующего кафедрой  
Физики твердого тела  /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП  /Янченко Л.И./

Воронеж 2021

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

формирование у студентов представлений о квантово-механических закономерностях, лежащих в основе современной физики и ее фундаментальных приложений;

овладение студентами основными положениями статистической физики, которые составляют основу подготовки специалистов в области электронной техники и физики твердого тела. Знания, полученные в рамках данного курса, позволяют проводить оценочные расчеты электрофизических параметров твердых тел;

получение студентами знаний основных концепций электродинамики

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

изучение основных законов и математического аппарата квантовой механики; - формирование навыков применения этих законов для анализа динамики микрочастиц и физических свойств равновесных макроскопических систем; - обучение решению конкретных задач квантовой механики;

ознакомить обучающихся с основными методами рассмотрения систем многих частиц;

сформировать у обучающихся представления о статистическом подходе к определению энтропии, температуры, давления; о количественной и качественной связи между различными термодинамическими функциями;

ознакомить с основными функциями распределения, научить применять их для описания реальных физических систем;

обеспечить приобретение студентами теоретических знаний и практического опыта при решении задач статистического характера;

освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных профессиональных задач;

овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;

умение ориентироваться в научно-технической информации;

формирование навыков по применению положений фундаментальной теории к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми бакалавру придется сталкиваться при создании или использовании новой техники и новых технологий;

умение использовать физические принципы и законы, а также результаты экспериментальных открытий в тех областях техники, в которых они будут трудиться;

ознакомить с основными уравнениями электродинамики

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Теоретическая физика» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Теоретическая физика» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие |
|-------------|--------------------------------------|
|-------------|--------------------------------------|

|       | <b>сформированность компетенции</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1 | <p>Знать основные положения нерелятивистской квантовой механики;<br/>физические основы и математический аппарат статистической физики; основные статистические методы для описания макроскопических систем с большим числом частиц; три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения;<br/>знать физические законы и математический аппарат электродинамики</p> <p>Уметь пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);<br/>применять методы статистической физики в профессиональной деятельности: использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах; применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);<br/>уметь применять методы электродинамики в профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыками проведения качественных теоретических оценок явлений в микромире с позиций квантовой механики.<br/>основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна; применять современные методы статистической физики к решению актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики;<br/>владеть математическим аппаратом электродинамики</p> |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теоретическая физика» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

| Виды учебной работы               | Всего часов | Семестры |    |    |
|-----------------------------------|-------------|----------|----|----|
|                                   |             | 4        | 5  | 6  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b> | 162         | 54       | 54 | 54 |
| В том числе:                      |             |          |    |    |
| Лекции                            | 108         | 36       | 36 | 36 |

|                                                          |          |          |           |           |
|----------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Практические занятия (ПЗ)                                | 54       | 18       | 18        | 18        |
| <b>Самостоятельная работа</b>                            | 99       | 54       | 36        | 9         |
| Часы на контроль                                         | 63       | 36       | -         | 27        |
| Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой | +        | +        | +         | +         |
| Общая трудоемкость академические часы з.е.               | 324<br>9 | 144<br>4 | 90<br>2.5 | 90<br>2.5 |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы                  | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Лекц | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|-----|------------|
|       |                                    | Электродинамика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |           |     |            |
| 1     | Введение в электродинамику         | История возникновения и развития электродинамики. Основные понятия и определения электродинамики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |           |     |            |
| 2     | Полная система уравнений Максвелла | Закон сохранения электрического заряда. Теорема Гаусса. Полный ток. Опыт Эрстеда. Опыт Фарадея. III уравнение Максвелла. IV уравнение Максвелла. V, VI и VIII уравнения Максвелла. Векторный и скалярный потенциалы. Уравнение Даламбера. Вывод уравнения Даламбера для скалярного потенциала. Анализ уравнения Даламбера для векторного и скалярного потенциалов. Граничные условия для векторов электромагнитного поля |      |           |     |            |
| 3     | Электростатика                     | Механические силы в электростатике. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов. Энергия непрерывно распределенных зарядов                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |           |     |            |
| 4     | Постоянный ток                     | Векторный потенциал. Взаимодействие элементов линейных токов. Энергия магнитного поля постоянного тока                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |           |     |            |
| 5     | Квазистационарные процессы         | Закон Ома для квазистационарных процессов. Решение уравнения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |           |     |            |

|   |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |     |
|---|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|
|   |                                             | закона Ома для случая периодической зависимости от времени сторонней ЭДС. Мощность в цепи квазистационарного тока. Закон сохранения и превращения энергии в электромагнитных процессах. Закон сохранения количества движения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |    |    |     |
| 6 | Плоские волны                               | Распространение плоских волн в диэлектрической среде. Распространение электромагнитной волны в проводящей среде. Законы геометрической оптики. Получение основного равенства для вывода законов геометрической оптики. Доказательство того, что луч падающий, луч отраженный и луч преломленный лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения. Закон Снеллиуса. Доказательство поперечности электромагнитных волн. Излучение ускоренно движущегося заряда. Релятивистская инвариантность уравнений Максвелла                                                                                     |    |    |    |     |
|   |                                             | Итого 4 семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 36 | 18 | 54 | 108 |
|   |                                             | Квантовая механика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |     |
| 1 | Основные понятия квантовой механики         | Значение и задачи курса «Квантовая механика и статистическая физика». Соотношение между классической и квантовой механикой. Корпускулярно-волновой дуализм. Эффект Комптона, фотоэлектрический эффект. Дифракция электронов. Принцип неопределенностей Гейзенберга. Волны де Бройля. Волновая функция. Требования, предъявляемые к волновым функциям в квантовой механике. Плотность распределения вероятности. Нормировка волновой функции. Собственные значения физических величин. Принцип суперпозиции. Собственные функции и собственные значения физических величин. Квазиклассическая волновая функция | 12 | 6  | 12 | 30  |
| 2 | Операторная формулировка квантовой механики | Операторы физических величин. Использование линейных самосопряженных операторов для                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 12 | 6  | 12 | 30  |

|   |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |   |    |    |
|---|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|----|----|
|   |                      | <p>изображения физических величин в квантовой механике. Собственные функции и собственные значения операторов. Средние значения физических величин. Линейные, эрмитовы операторы. Ортогональность собственных функций эрмитовых операторов. Коммутация операторов. Коммутатор. Основные действия с операторами: сложение и умножение операторов.</p> <p>Непрерывный спектр собственных значений оператора. Элементы теории представлений .</p> <p>Общий метод вычисления вероятностей результатов измерений.</p> <p>Оператор импульса. Оператор момента импульса в сферической системе координат. Оператор квадрата момента импульса. Собственные функции и собственные значения этих операторов.</p> <p>Оператор Гамильтона (полной энергии).</p> <p>Вид оператора в произвольном представлении. Дифференцирование операторов по времени.</p> |    |   |    |    |
| 3 | Уравнение Шредингера | <p>Временное уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Вектор плотности потока состояний.</p> <p>Падение частицы на потенциальную ступеньку или барьер. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Коэффициент отражения и коэффициент прохождения. Проявления туннельного эффекта: автоэлектронная эмиссия, ионизация газов в сильном электрическом поле, радиоактивный <math>\alpha</math>-распад..</p> <p>Трехмерный потенциальный барьер. Модель Кронинга-Пенни. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме. Двумерная потенциальная яма. Одномерная квантовая яма конечной глубины .</p> <p>Собственные функции и уровни энергии..</p> <p>Линейный гармонический осцил-</p>                                                                                                                              | 12 | 6 | 12 | 30 |

|   |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |           |            |
|---|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|
|   |                                                                   | <p>лятор. Решение уравнения Шредингера для нахождения стационарных состояний осциллятора. Сравнительный анализ поведения классического и квантово-механического гармонического осциллятора. Нулевая энергия. Собственные функции и уровни энергии.</p> <p>Трехмерный гармонический осциллятор .</p> <p>Движение частиц в центрально-симметричном поле. Атом водорода. Решение уравнения Шредингера для нахождения стационарных состояний водородоподобного атома. Волновая функция атома водорода. Квантовые числа. Вырождение по орбитальному квантовому числу и по магнитному квантовому числу. Кратность вырождения .</p> <p>Магнитные свойства атома водорода.</p> <p>Спин. Волновые функции частицы со спином. Оператор спина. Собственные значения и собственные функции оператора спина</p> |            |           |           |            |
|   |                                                                   | Итого 5 семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 36         | 18        | 36        | 90         |
|   |                                                                   | Статистическая физика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |           |           |            |
| 1 | Основные результаты термодинамического метода                     | <p>Методы рассмотрения систем многих частиц. Постулаты термодинамики</p> <p>Первый закон термодинамики</p> <p>Второй закон термодинамики</p> <p>Третий закон термодинамики.</p> <p>Термодинамические потенциалы</p> <p>Химический потенциал</p> <p>Фазы. Фазовые переходы</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 12         | 6         | 3         | 21         |
| 2 | Статистический метод                                              | <p>Фазовое пространство</p> <p>Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема</p> <p>Микроканоническое распределение</p> <p>Каноническое распределение</p> <p>Большое каноническое распределение</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 12         | 6         | 3         | 21         |
| 3 | Физические задачи, решаемые с использованием распределения Гиббса | <p>Классический идеальный газ</p> <p>Квантовые идеальные газы</p> <p>Теплоемкость газов и твердых тел.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 12         | 6         | 3         | 21         |
|   |                                                                   | Итого 6 семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 36         | 18        | 9         | 63         |
|   |                                                                   | <b>Итого</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>108</b> | <b>54</b> | <b>99</b> | <b>261</b> |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Критерии оценивания                                                                     | Аттестован                                                    | Не аттестован                                                   |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ОПК-1       | знать основные положения нерелятивистской квантовой механики; физические основы и математический аппарат статистической физики; основные статистические методы для описания макроскопических систем с большим числом частиц; три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения; знать физические законы и математический аппарат электродинамики | Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках); применять методы статистической физики в профессиональной деятель-                                                                                                                                                                                             | Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                         |                                                               |                                                                 |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|  | ности : использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах; применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках); уметь применять методы электродинамики в профессиональной деятельности                             |                                                                                         |                                                               |                                                                 |
|  | владеть навыками проведения качественных теоретических оценок явлений в микромире с позиций квантовой механики. основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна; применять современные методы статистической физики к решению актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики; владеть математическим аппаратом электродинамики | Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6, 4 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Критерии оценивания                    | Отлично                                                | Хорошо                                                                                | Удовл.                                                   | Неудовл.                             |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ОПК-1       | <p>знать основные положения нерелятивистской квантовой механики;</p> <p>физические основы и математический аппарат статистической физики; основные статистические методы для описания макроскопических систем с большим числом частиц; три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения;</p> <p>знать физические законы и математический аппарат электродинамики</p>                                                                                                                                                                                        | Тест                                   | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | <p>уметь пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);</p> <p>применять методы статистической физики в профессиональной деятельности : использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах; применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);</p> | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                          |                                                        |                                                                                       |                                                          |                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------|--|
| уметь применять методы электродинамики в профессиональной деятельности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                        |                                                                                       |                                                          |                  |  |
| владеть навыками проведения качественных теоретических оценок явлений в микромире с позиций квантовой механики. основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна; применять современные методы статистической физики к решению актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики; владеть математическим аппаратом электродинамики | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |  |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

#### Квантовая механика

1. Определить длину волны де Бройля для электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите [1 нм]
2. Ширина следа электрона (обладающего кинетической энергией  $T = 1,5$  кэВ) на фотопластинке, полученного с помощью камеры Вильсона, составляет  $\Delta x = 1$  мкм. Определить, можно ли по данному следу обнаружить отклонение в движение электрона от законов классической механики [ $\Delta p / p_x = 10^{-4}$ , нет]
3. Волновая функция, описывающая основное состояние электрона в атоме водорода, имеет вид  $\psi(r) = A e^{-r/a}$ , где  $r$  – расстояние электрона до ядра;  $a$  – первый боровский радиус. Определить наиболее вероятное расстояние  $r_B$  электрона до ядра [ $r_B = a$ ]
4. Электрон с энергией  $E = 4$  эВ движется в положительном направлении оси  $x$ ,

встречая на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой  $U = 10 \text{ эВ}$  и шириной  $l = 0,1 \text{ нм}$ . Определить коэффициент  $D$  прозрачности потенциального барьера.  $[0,1]$

5. Объяснить, при каких условиях к электронам в металле применима: 1) классическая статистика; 2) квантовая статистика.

6. Электрон находится в бесконечно глубоком прямоугольном одномерном потенциальном ящике шириной  $l$  (рис. 46.4). Написать уравнение Шредингера и его решение (в тригонометрической форме) для области II ( $0 < x < l$ )

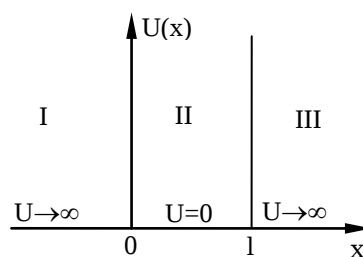


Рис. 46.4.

7. Зная решение уравнения Шредингера для областей I и II потенциального барьера  $\psi_I(x) = A_1 e^{ik_1 x} + B_1 e^{-ik_1 x}$ ,  $\psi_{II}(x) = A_2 e^{ikx}$ , определить из условий непрерывности  $\psi$  – функций и их первых производных на границе барьера отношение амплитуд вероятности  $B_1/A_2$  и  $A_2/A_1$ .

8. На низкий потенциальный барьер направлен моноэнергетический поток электронов с плотностью потока энергии  $J_1 = 10 \text{ Вт/м}^2$ . Определить плотность потока энергии  $J_2$  электронов, прошедших барьер, если высота его  $U_0 = 0,91 \text{ эВ}$  и энергия  $E$  электронов в падающем потоке равна  $1 \text{ эВ}$ .

9. Определить длину волны де Бройля для нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при  $T = 290 \text{ К}$ .  $[148 \text{ пм}]$

10. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов  $U = 1 \text{ кВ}$ . Известно, что неопределенность скорости составляет  $0,1 \%$  от ее числового значения. Определить неопределенность координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовой или классической частицей?  $[\Delta x = 38,8 \text{ нм}]$

## Статистическая физика

1. Найти для кислорода отношение удельной теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме.

2. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , если он расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 2V_1$ ?
3. Чему равна энергия теплового движения 20 г кислорода при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ ? Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного?
4. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении 8 г гелия от объема 10 л до объема 25 л.
5. Объяснить, при каких условиях к электронам в металле применима: 1) классическая статистика; 2) квантовая статистика.
6. Объяснить, при каких условиях можно принять статистику Максвелла-Больцмана к электронам в металле. Пользуясь распределением Ферми-Дирака, получить распределение Максвелла-Больцмана.
7. Определить функцию распределения для электронов, находящихся на энергетическом уровне  $E$  для случая  $E - E_F \ll kT$ , пользуясь: 1) статистикой Ферми-Дирака; 2) статистикой Максвелла-Больцмана. [1)  $1/2$ ; 2) 1].
8. Определить функцию распределения Ферми-Дирака при  $T \neq 0$  для электронов, находящихся на уровне Ферми. Объяснить полученный результат. [ $\langle N(E) \rangle = 1/2$ ].
9. Какая статистика описывает фононный газ? Почему?
10. Объяснить целесообразность введения фононов, а также перечислить их свойства.
11. Объяснить причину электрического сопротивления металлов с точки зрения квантовой теории электропроводимости металлов.
12. Объяснить на основе квантовой теории отсутствие заметного отличия в теплоемкостях металлов и диэлектриков.
13. Объяснить физический смысл энергии Ферми.

### Электродинамика

1. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} ;$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S} ;$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV ;$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 .$$

Следующая система уравнений

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0 ;$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S} ;$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0 ;$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для

- a) стационарного магнитного поля;
- b) стационарных электрических и магнитных полей;
- c) стационарного электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
- d) стационарного электрического поля.

2. Утверждение «В любой точке пространства изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле» раскрывает физический смысл уравнения

$$\text{a) } \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S} ; \text{ b) } \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 ;$$

$$\text{c) } \oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} ; \text{ d) } \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV .$$

3. Физический смысл уравнения Максвелла  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$  заключается в следующем:

- a) изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле;

- b) источником электрического поля являются свободные электрические заряды;
- c) источником вихревого магнитного поля помимо токов проводимости является изменяющееся со временем электрическое поле;
- d) «магнитных зарядов» не существует: силовые линии магнитного поля замкнуты.

4. Физический смысл уравнения Максвелла  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$  заключается в следующем:

- a) изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле;
- b) источником электрического поля являются свободные электрические заряды;
- c) источником вихревого магнитного поля помимо токов проводимости является изменяющееся со временем электрическое поле;
- d) «магнитных зарядов» не существует: силовые линии магнитного поля замкнуты.

5. Во сколько раз увеличится объемная плотность энергии магнитного поля, создаваемого длинным прямым проводом с током в данной точке пространства, если силу тока увеличить в три раза?

- a) увеличится в 3 раза; b) увеличится в 9 раз;
- c) уменьшится в 3 раза; d) уменьшится в 9 раз.

6. Из теоремы Гаусса для вектора магнитной индукции следует, что

- a) в природе существуют магнитные заряды;
- b) силовые линии магнитной индукции являются замкнутыми;
- c) силовые линии магнитной индукции начинаются и заканчиваются на зарядах;
- d) силовые линии магнитной индукции уходят в бесконечность.

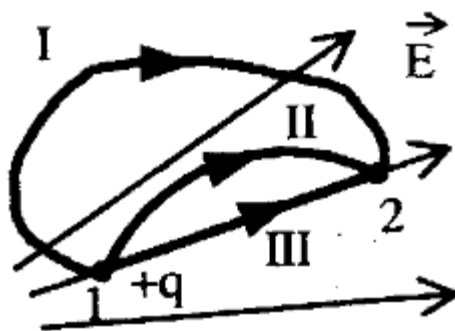
7. Поток вектора магнитной индукции показывает

- a) количество силовых линий магнитного поля пронизывают поверхность S;
- b) количество силовых линий электрического поля пронизывают поверхность S;
- c) величину силы, действующей на проводник с током в магнитном поле;
- d) величину силы, действующей на заряд, движущийся в магнитном поле.

8. Напряженность электрического поля в некоторой точке пространства увеличилась в два раза. Объемная плотность энергии в этой точке

- a) уменьшится в 2 раза;
- b) увеличится в 2 раза;
- c) уменьшится в 4 раза;
- d) увеличится в 4 раза.

9. В неоднородном электростатическом поле перемещается положительный заряд из точки 1 в точку 2 по разным траекториям (рис.)



Работа сил поля наименьшая при перемещении заряда по траектории

- a) I;
- b) II;
- c) III;
- d) работа по всем траекториям одинакова.

10. Формула  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0$  справедлива

- a) для электростатического поля и поля движущихся зарядов;
- b) для любого электрического поля;
- c) только для поля движущихся зарядов;
- d) только для электростатического поля.

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

### Квантовая механика

1. Волновая функция, описывающая некоторую частицу, имеет вид  $\psi(r) = A e^{-r / (2a^2)}$ , где  $r$  - расстояние частицы от силового центра;  $a$  - некоторая постоянная. Определить наиболее вероятное расстояние  $r_B$  частицы до силового центра. [ $r_B = a$ ].

2. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину  $l = 0,1$  нм. Определить в электрон-вольтах разность энергий  $U - E$ , при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,5. [ $0,454$  эВ]

3. Объяснить, при каких условиях можно принять статистику Максвелла - Больцмана к электронам в металле. Пользуясь распределением Ферми - Дирака, получить распределение Максвелла - Больцмана.

4. Известна волновая функция, описывающая состояние электрона в потенциальном ящике шириной  $l$ :  $\psi(x) = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx$ . Используя граничные условия  $\psi(0) = 0$  и  $\psi(l) = 0$ , определить коэффициент  $C_2$  и возможные значения волнового вектора  $k$ , при котором существуют нетривиальные решения.

5. Зная отношение амплитуд вероятности  $\frac{B_1}{A_1} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}$  для волны, отраженной от

барьера, и  $\frac{A_2}{A_1} = \frac{2k_1}{k_1 + k_2}$  для проходящей волны, найти выражение для коэффициента отражения  $\rho$  и коэффициента прохождения  $\tau$ .

6. Моноэнергетический поток электронов падает на низкий потенциальный барьер (см. рис. 46.1). Коэффициент прохождения  $\tau = 0,9$ . Определить отношение  $J_2 / J_1$  плотности потока энергии волны, прошедшей барьер, к плотности потока энергии волны, падающей на барьер.

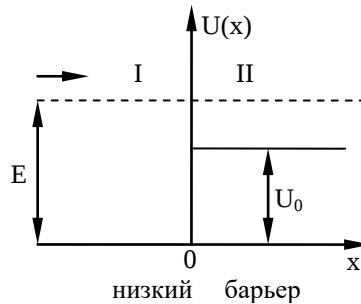


Рис.46.1.

7. Протон движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 15$  мТл по окружности радиусом  $R = 1,4$  м. Определить длину волны де Бройля для протона.  $[0,197$  пм].

8. Определить отношение неопределенностей скорости электрона, если его координата установлена с точностью до  $10^{-5}$  м, и пылинки массой  $m = 10^{-12}$  кг, если ее координата установлена с такой же точностью.  $[1,1 \cdot 10^{18}]$ .

9. Записать уравнение Шредингера для стационарных состояний электрона, находящегося в атоме водорода.

10. Протон с энергией  $E = 5$  эВ движется в положительном направлении оси  $x$ , встречая на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой  $U = 10$  эВ и шириной  $l = 0,1$  нм. Определить: 1) вероятность прохождения протоном этого барьера; 2) во сколько раз надо сузить барьер, чтобы вероятность прохождения его протоном была такой же, как для электрона при вышеприведенных условиях.  $[1) 1,67 \cdot 10^{-43}; 2) в 42,9$  раза].

### Статистическая физика

1. Вычислить энергию Ферми для алюминия при  $T = 0$  К.
2. Найти разницу энергий в единицах  $kT$  между электроном на уровне Ферми и электроном, находящемся на уровне, вероятность заполнения которого 0,2.
3. Металл находится при температуре  $T = 0$  К. Определить, во сколько раз

число электронов с кинетической энергией от  $E_f/2$  до  $E_f$  больше числа электронов от 0 до  $E_f/2$ .

4. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности сместился с 2,4 мкм на 0,8 мкм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

5. Температура абсолютно черного тела равна 2 К. Определить спектральную плотность энергетической светимости для длины волны 600 нм.

6. Температура абсолютно черного тела равна 2 К. Определить энергетическую светимость в интервале длин волн от 590 нм до 610 нм

7. Абсолютно черное тело находится при температуре 2900 К. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на 9 мкм. До какой температуры охладилось тело?

8. Пылинки массой  $10^{-18}$  г взвешены в воздухе. Определить толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1%. Температура воздуха во всем объеме одинакова и равна 300 К.

9. В атмосфере находятся частицы пыли, имеющие массу  $8 \cdot 10^{-22}$  кг и объем  $5 \cdot 10^{-23}$  м<sup>3</sup>. Найти уменьшение их концентрации на высотах 3 м и 30 м. Воздух находится при нормальных условиях.

10. Барометр в кабине самолета все время показывает одинаковое давление 79 кПа. Но температура за бортом самолета изменилась с 5 °С до 1 °С. На сколько изменилась высота полета? Давление у поверхности земли считать нормальным.

11. Кусок металла объема 20 см<sup>3</sup> находится при температуре 0 К. Определить число свободных электронов, импульсы которых отличаются от максимального импульса не более, чем на 0,1  $p_{\max}$ . Энергия Ферми 5 эВ.

12. Определить концентрацию свободных электронов в металле при 0 К. Энергию Ферми принять равной 1 эВ.

13. Вычислить среднюю кинетическую энергию электронов в металле при 0 К, если уровень Ферми 7 эВ.

14. Найти долю свободных электронов в металле при 0 К, кинетическая энергия которых больше половины максимальной.

15. Объяснить, при каких условиях к электронам в металле применима:

1) классическая статистика; 2) квантовая статистика.

16. Определить отношение концентраций свободных электронов при  $T = 0$  К в литии и цезии, если известно, что уровни Ферми в этих металлах равны 4,72 эВ, 1,53 эВ.

17. Определить число свободных электронов, занимающих в среднем уровень энергии, равной энергии Ферми.

### Электродинамика

1. Между пластинами плоского конденсатора создано переменное электрическое поле, изменяющееся по синусоидальному закону. Амплитуда напряженности поля 10 мВ/м, частота 200 кГц. Найдите амплитуду плотности тока смещения.

- a) 6,8 МА/м<sup>2</sup>;
- b) 4 мА/м<sup>2</sup>;
- c) 111 нА/м<sup>2</sup>;
- d) 0,23 А/м<sup>2</sup>.

2. В слабо проводящей среде с удельным сопротивлением 5 Ом·м и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$  создано переменное электромагнитное поле с частотой  $6 \cdot 10^7$  Гц. Найдите отношение амплитуд токов проводимости и смещения.

- a) 9,3;
- b) 0,041;
- c) 0,15;
- d) 20.

3. Плоская рамка площадью 50 см<sup>2</sup> расположена в магнитном поле так, что ее плоскость составляет с направлением поля угол 30°. Индукция магнитного поля меняется со временем по закону  $B = 0,1t^2$  (Тл). Определите величину ЭДС индукции в рамке в момент времени 1 с.

- a) 50 мВ;
- b) 5 мВ;
- c) 0,05 мВ;
- d) 0,5 мВ.

4. В однородном магнитном поле с индукцией 0,02 Тл размещена квадратная рамка, плоскость которой составляет с направлением поля 30°. Сторона рамки 5 см. Определите магнитный поток, пронизывающий рамку.

- a) 25 мкВб;
- b) 5 мкВб;
- c) 210 мкВб;
- d) 0,37 мкВб.

5. По двум параллельным проводам длиной 5 м текут противоположно направленные токи 50 А каждый. С какой силой взаимодействуют провода, если расстояние между ними 5 см?

- a) 50 мН;
- b) 45 Н;
- c) 11,5 мкН;
- d) 0,33 МН.

6. По двум бесконечным параллельным проводам, находящимся на расстоянии 20 см друг от друга, текут в противоположных направлениях токи 10 А каждый. Вычислите величину магнитной индукции в точке, расположенной посередине между проводами.

- a) 40 мкТл;
- b) 60 мкТл;
- c) 80 мкТл;
- d) 100 мкТл.

7. Плотность тока в проводнике равна 2 А/мм<sup>2</sup>. Найти напряженность электрического поля в проводнике (в мВ/м), если его удельное сопротивление равно 50 нОм·м.

- a) 22 мВ/м;
- b) 100 мВ/м;
- c) 1,4 мВ/м;
- d) 102 мВ/м.

8. Определите заряд, прошедший по проводу с сопротивлением  $R = 7 \text{ Ом}$  при равномерном нарастании напряжения на концах провода от  $U_1 = 1 \text{ В}$  до  $U_2 = 6 \text{ В}$  в течение  $\tau = 10 \text{ с}$ .

- a) 23 Кл;
- b) 5 Кл;
- c) 0,2 Кл;
- d) 113 Кл.

9. Найдите объемную плотность энергии электрического поля вблизи бесконечной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 4 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/см}^2$ .

- a) 23 мДж/м<sup>3</sup>;
- b) 2,3 Дж/м<sup>3</sup>;
- c) 0,23 мДж/м<sup>3</sup>;
- d) 2,3 мДж/м<sup>3</sup>.

10. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями, равномерно заряженными с поверхностными плотностями  $\sigma_1 = \sigma$  и  $\sigma_2 = -3\sigma$ . Найдите отношение напряженностей поля в области между плоскостями и в пространстве слева и справа от них.

- a) 1;
- b) 2;
- c) 3;
- d) 4.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

#### Квантовая механика

1. Определить функцию распределения для электронов, находящихся на энер-

гетическом уровне  $E$  для случая  $E - E_F \ll kT$ , пользуясь: 1) статистикой Ферми - Дирака; 2) статистикой Максвелла - Больцмана. [1)  $1/2$ ; 2)  $1$ ].

**2.** Электрону в потенциальном ящике шириной  $l$  отвечает волновое число  $k = \pi n/l$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). Используя связь энергии  $E$  электрона с волновым числом  $k$ , получить выражение для собственных значений энергии  $E_n$ .

**3.** Считая выражение для коэффициента отражения  $\rho$  от потенциального барьера и коэффициента прохождения  $\tau$  известным, показать, что  $\rho + \tau = 1$ .

**4.** На низкий потенциальный барьер падает моноэнергетический поток электронов. Концентрация  $n_0$  электронов в падающем потоке равна  $10^9 \text{ мм}^{-3}$ , а их энергия  $E = 100 \text{ эВ}$ . Определить давление, которое испытывает барьер, если его высота  $U_0 = 9,7 \text{ эВ}$ .

**5.** Определить какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля  $\lambda$  для него была равна  $1 \text{ нм}$ . [ $0,821 \text{ мВ}$ ].

**6.** Электронный пучок выходит из электронной пушки под действием разности потенциалов  $U = 200 \text{ В}$ . Определить, можно ли одновременно измерить траекторию электрона с точностью до  $100 \text{ пм}$  (с точностью порядка диаметра атома) и его скорость с точностью до  $10 \%$ . [ $m\Delta v\Delta x < h$ ; нет].

**7.** Записать одномерное уравнение Шредингера (для стационарных состояний) для частицы, движущейся под действием квазиупругой силы.

**8.** Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину  $l = 0,1 \text{ нм}$ . Разность между высотой потенциального барьера и энергией движущегося в положительном направлении оси  $x$  электрона  $U - E = 5 \text{ эВ}$ . Определить, во сколько раз изменится коэффициент  $D$  прозрачности потенциального барьера для электрона, если разность  $U - E$  возрастет в 4 раза. [Уменьшится в 10 раз].

**9.** Определить функцию распределения Ферми-Дирака при  $T \neq 0$  для электронов, находящихся на уровне Ферми. Объяснить полученный результат. [ $\langle N(E) \rangle = 1/2$ ].

**10.** Частица находится в потенциальном ящике. Найти отношение разности соседних энергетических уровней  $\Delta E_{n+1}$  к энергии  $E_n$  частицы в трех случаях: 1)  $n = 3$ ; 2)  $n = 10$ ; 3)  $n \rightarrow \infty$ . Пояснить полученные результаты.

**11.** Электрон с энергией  $E = 25 \text{ эВ}$  встречает на своем пути потенциальный барьер высотой  $U_0 = 9 \text{ эВ}$  (см. рис.46.1). Определить коэффициент преломления  $n$  волн де Бройля на границе барьера.

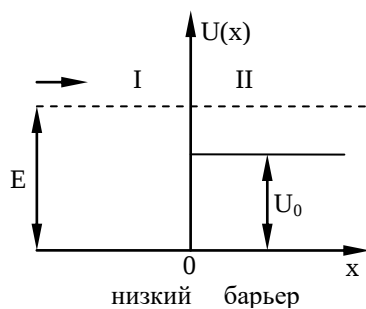


Рис.46.1.

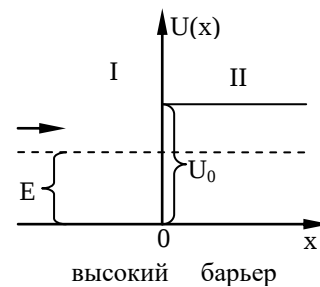


Рис.46.6.

12. Написать уравнение Шредингера и найти его решение для электрона, движущегося в положительном направлении оси  $x$  для областей I и II (рис. 46.6), если на границе этих областей имеется потенциальный барьер высотой  $U_0$ .

Статистическая физика

Обосновать на примере (подтвердить расчетами) невозможность применения динамического метода при рассмотрении систем многих частиц.

Найти внутреннюю энергию одного моля одно-, двух- и многоатомного идеального газа.

Найти изменение энтальпии и энтропии в изобарическом процессе.

Провести сравнительную оценку крутизны изотермы и адиабаты.

Получить уравнение Майера.

Вывести выражение для работы идеального газа в адиабатическом процессе.

Доказать теорему Карно для случая, когда рабочим телом является идеальный газ.

Убедиться в справедливости принципа возрастания энтропии при расширении идеального газа в пустоту.

Убедиться в справедливости принципа возрастания энтропии при адиабатическом смешении двух идеальных газов.

Найти изменение энтропии в результате перемешивания газа в сообщающихся баллонах. В начальный момент времени давление в баллонах различны, а температура одинакова.

Получить условия равновесия и устойчивости для однородной изолированной системы.

Доказать справедливость соотношений: а)  $c_v > 0$ ; б)  $\left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T < 0$ .

Найти фазовую траекторию одномерного гармонического осциллятора. Рассчитать ее площадь.

Основные характеристики состояние модельной системы спинов.

Оценка остроты максимума допустимых состояний для модельной системы спинов.

### Электродинамика

1. С двух концов прямоугольного волновода запущены навстречу друг другу два радиоимпульса с высокочастотным заполнением: один — на волне  $TE_{10}$ , второй — на волне  $TE_{m0}$ . Центры импульсов встречаются точно посередине волновода. Каково соотношение между длинами волн обоих импульсов в свободном пространстве ( $\lambda_1/\lambda_2$ ) и в волноводе ( $\lambda_{g1}/\lambda_{g2}$ )?

a)  $\lambda_1/\lambda_2 = \lambda_{g1}/\lambda_{g2} = 1/m$ ;

b)  $\lambda_1/\lambda_2 = \lambda_{g1}/\lambda_{g2} = m$ ;

c)  $\lambda_1/\lambda_2 = \lambda_{g1}/\lambda_{g2} = m^2$ ;

d)  $\lambda_1/\lambda_2 = \lambda_{g1}/\lambda_{g2} = \sqrt{m}$ .

2. Длина волны в волноводе  $\lambda_q$  в два раза превышает критическую длину волны для данной моды  $\lambda_{cr}$ . Во сколько раз частота волны превышает критическую?

a)  $\omega/\omega_{cr} = 2/3$ ;

b)  $\omega/\omega_{cr} = 1$ ;

c)  $\omega/\omega_{cr} = \sqrt{5/4}$ ;

d)  $\omega/\omega_{cr} = 9$ .

3. Найти критическую частоту для низшего типа волны  $TE$  в прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения  $a$  и  $b$  ( $a > b$ ), частично заполненном диэлектриком с проницаемостью  $\varepsilon$ . Граница диэлектрика параллельна узким стенкам волновода и отстоит от одной из них на расстоянии  $d < a$ .

a)  $tg\left(\frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon}d\right) = -\sqrt{\varepsilon}tg\left[\frac{\omega}{c}(b-d)\right]$ ;

b)  $\omega = -\sqrt{\varepsilon}tg\left[\frac{\omega}{c}(b-d)\right]$ ;

c)  $tg\left(\frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon}d\right) = tg\left[\frac{\omega}{c}(b-d)\right]$ ;

d)  $tg\left(\frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon}\right) = -\sqrt{\varepsilon}tg\left[\frac{\omega}{c}(b-d)\right]$ .

4. Расстояние между ближайшими узлами стоячей волны  $TE_{11}$  в прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения  $a$ ,  $b$  равно  $L$ . Найти частоту поля  $\omega$ .

a)  $\omega = \pi c(L^{-2} + a^{-2} + b^{-2})^{1/2}$ ;

b)  $\omega = L^{-2} + a^{-2} + b^{-2}$ ;

c)  $\omega = \pi c(L + a + b)^{1/2}$ ;

d)  $\omega = \pi c(L^{-2} + a^{-2} + b^{-2})$ .

5. При каком условии в прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения  $a$  и  $b$  могут существовать  $TE$ -волны с циркулярной поляризацией электрического поля на осевой линии? Изобразить картину силовых линий электрического поля для самой низкой моды такой волны.

- a)  $ab = mn$ , где  $m$  и  $n$  – нечетные числа;
- b)  $a/b = m/n$ , где  $m$  и  $n$  – нечетные числа;
- c)  $a^b = m/n$ , где  $m$  и  $n$  – нечетные числа;
- d)  $a - b = m/n$ , где  $m$  и  $n$  – нечетные числа.

6. Прямоугольный волновод возбуждается внешним источником через узкую щель, прорезанную в его узкой стенке. Как зависит мощность, излучаемая в волну типа  $TE_{10}$ , от угла наклона щели  $\alpha$  к продольному ребру волновода (длина щели и напряжение на ней фиксированы)?

- a)  $P \sim \sin^2 \alpha$ ;
- b)  $P \sim \operatorname{tg}^2 \alpha$ ;
- c)  $P \sim \cos^2 \alpha$ ;
- d)  $P \sim \operatorname{ctg}^2 \alpha$ .

7. Волна типа  $TE_{11}$  в круглом волноводе возбуждается двумя синфазными продольными щелями. Какова поляризация волны? Как зависит уносимый ею поток энергии от угла  $\alpha$  между меридиональными (проходящими через ось волновода) плоскостями, в которых лежат щели?

a) Электрическое поле на оси волновода перпендикулярно плоскости, в которой лежат щели;  $P \sim \cos^2 \alpha$ ;

b) Электрическое поле на оси волновода параллельно плоскости, в которой лежат щели;  $P \sim \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ ;

c) Электрическое поле на оси волновода перпендикулярно плоскости, в которой лежат щели;  $P \sim \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ ;

d) Электрическое поле на оси волновода перпендикулярно плоскости, в которой лежат щели;  $P \sim \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ .

8. Внутри бесконечного прямоугольного волновода с размерами поперечного сечения  $a$  и  $b$  ( $a > b$ ) задано следующее распределение плотности тока:

$$\mathbf{j} = \mathbf{y}_0 j_0 \sin(\pi x/a) \exp(i(\omega t - pz))$$

при  $|z| < L$ ,  $\mathbf{j} = 0$  при  $|z| > L$ ; здесь  $\mathbf{y}_0$  – единичный вектор, перпендикулярный широкой стенке волновода,  $x$  – расстояние до одной из узких стенок,  $z$  – продольная координата;  $j_0 = \text{const}$ ; частота  $\omega$  и число  $p$  связаны соотношением  $p^2 = (\omega/c)^2 - (\pi/a)^2$ . Найти отношение потоков энергии  $P_+/P_-$ , излучаемых данными токами в направлениях  $+z$  и  $-z$ .

a)  $\frac{P_-}{P_+} = 2pL$ ;

b)  $\frac{P_-}{P_+} = \left( \frac{2pL}{\sin 2pL} \right)^2$ ;

$$\text{c) } \frac{P_-}{P_+} = \frac{2pL}{\sin 2pL};$$

$$\text{d) } \frac{P_-}{P_+} = \sin 2pL.$$

9. Получить приближенное дисперсионное уравнение для медленной двумерной волны типа ТЕ с симметричным по поперечной координате распределением поля  $E$ , направляемой тонким плоским слоем среды с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon > 1$  и магнитной проницаемостью  $\mu = 1$ ; окружающая среда – вакуум. Толщина слоя  $d$  предполагается малой по сравнению с длиной плоской ТЕМ-волны в данной среде:  $k\sqrt{\varepsilon} \ll 1$ ;  $k = \omega/c$ .

$$\text{a) } h^2 = k^2[1 + k^2 d^2(\varepsilon - 1)];$$

$$\text{b) } h^2 = k[1 + kd(\varepsilon - 1)/2];$$

$$\text{c) } h^2 = k^2[1 + k^2 d^2(\varepsilon - 1)/2];$$

$$\text{d) } h^2 = k^2[1 + kd(\varepsilon - 1)/2].$$

10. Резонатор представляет собой плавно изогнутый и замкнутый сам на себя отрезок линии передачи длины  $L$  с известным спектром поперечных волновых чисел  $k_n$ . Радиус кривизны линии много больше ее поперечных размеров. Найти спектр собственных частот такого резонатора в той области, где длина  $L$  содержит большое число пространственных периодов поля.

$$\text{a) } \frac{\omega^2}{c^2} = \frac{(2\pi m)^2}{L^2} + k_n^2; m = 0, 1, 2, 3, \dots;$$

$$\text{b) } \frac{\omega^2}{c^2} = \frac{2\pi m}{L} + k_n^2; m = 0, 1, 2, 3, \dots;$$

$$\text{c) } \frac{\omega^2}{c^2} = \frac{(2\pi m)^2}{L^2} + k_n; m = 0, 1, 2, 3, \dots;$$

$$\text{d) } \frac{\omega^2}{c^2} = \frac{(2\pi m)^2}{L} + k_n^2; m = 0, 1, 2, 3, \dots.$$

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

##### Квантовая механика

- 1 Дуализм волн и частиц и принцип неопределенностей Гейзенберга.
2. Волны де Бройля.
3. Волновая функция. Собственные значения физических величин. Принцип суперпозиции.
4. Собственные функции и собственные значения физических величин.
5. Операторы. Средние значения физических величин.
6. Сложение и умножение операторов.

7. Непрерывный спектр собственных значений оператора.
8. Элементы теории представлений.
9. Оператор импульса.
10. Оператор момента импульса.
11. Оператор квадрата момента импульса.
12. Оператор Гамильтона.
13. Вид оператора в произвольном представлении.
14. Дифференцирование операторов во времени.
15. Стационарные состояния.
16. Уравнение Шредингера.
17. Вектор плотности потока состояний.
18. Падение частицы на потенциальную ступеньку.
19. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
20. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме.
21. Двумерная потенциальная яма.
22. Одномерная квантовая яма конечной глубины.
23. Линейный гармонический осциллятор.
24. Атом водорода.
25. Спин. Волновые функции частицы со спином.
26. Оператор спина. Собственные значения и собственные функции оператора спина.

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Методы рассмотрения систем многих частиц. Динамический метод изучения систем многих частиц.
2. Методы рассмотрения систем многих частиц. Термодинамический метод изучения систем многих частиц.
3. Методы рассмотрения систем многих частиц. Статистический метод.
4. Полная и внутренняя энергия систем многих частиц.
5. Первое начало термодинамики. Основное уравнение термодинамики для рав-

но-весных процессов.

6. Второе начало термодинамики.
7. Принцип существования энтропии.
8. Принцип возрастания энтропии.
9. Третье начало термодинамики. Следствия из третьего начала термодинамики.
10. Представление основного уравнения термодинамики через характеристические функции.
11. Характеристические переменные. Основные свойства характеристических функций. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.
12. Характеристические функции в роли термодинамических потенциалов.
13. Условие термодинамического равновесия. Устойчивость равновесия.
14. Дифференциальные уравнения термодинамики в независимых переменных  $T$  и  $V$  и их интегрирование.
15. Классическое описание состояния механической системы. Уравнения движения в форме Ньютона.
16. Уравнения движения в форме Лагранжа.
17. Уравнения движения в форме Гамильтона.
18. Интегралы движения.
19. Фазовое пространство.
20. Фазовое пространство частицы одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд объемом  $V$ .
21. Фазовое пространство одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд объемом  $V$  и содержащего  $N$  одноатомных частиц.
22. Квазиклассическое выражение для числа микросостояний системы в выделенном объеме фазового пространства  $\Delta\Gamma$ .
23. Метод ансамблей Гиббса.
24. Теорема Лиувилля. Принцип равной вероятности.
25. Микроканоническое распределение Гиббса.
26. Статистическое определение энтропии.
27. Статистическое определение температуры. Перенос тепла от горячего тела к холодному.
28. Статистическое определение химического потенциала. Самопроизвольный массообмен между подсистемами.
29. Каноническое распределение Гиббса.
30. Большое каноническое распределение Гиббса.
31. Максвелл-Больцмановский идеальный газ.

## Электродинамика

1. Закон сохранения электрического заряда.
2. Теорема Гаусса (IV уравнение Максвелла).
3. Полный ток (ток проводимости и ток смещения).
4. Опыт Эрстеда (I уравнение Максвелла).
5. Опыт Фарадея (II уравнение Максвелла).
6. III уравнение Максвелла.
7. V, VI и VIII уравнения Максвелла.
8. Полная система уравнений Максвелла.
9. Векторный и скалярный потенциалы.
10. Уравнение Даламбера.
11. Вывод уравнения Даламбера для скалярного потенциала.

12. Анализ уравнений Даламбера для векторного и скалярного потенциалов.

13. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.

14. Электростатика.

15. Механические силы в электростатике.

16. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов.

17. Энергия непрерывно распределенных зарядов.

18. Постоянный ток.

19. Взаимодействие элементов линейных токов.

20. Энергия магнитного поля постоянного тока.

21. Квазистационарные процессы.

22. Закон Ома для квазистационарных процессов.

23. Решение уравнения закона Ома для случая периодической зависимости от времени сторонней ЭДС.

24. Мощность в цепи квазистационарного тока.

25. Закон сохранения и превращения энергии в электромагнитных процессах.

26. Закон сохранения количества движения.

27. Плоские волны.

28. Распространение плоских волн в диэлектрической среде.

29. Распространение электромагнитной волны в проводящей среде.

30. Законы геометрической оптики.

31. Основное равенство для вывода законов геометрической оптики.

32. Доказательство того, что луч падающий, луч отраженный и луч преломленный лежат в одной плоскости.

33. Доказательство того, что угол падения равен углу отражения.

34. Закон Снеллиуса.

35. Доказательство поперечности электромагнитных волн.

36. Излучение ускоренно движущегося заряда.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

(Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой | Наименование оценочного средства |
|-------|------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
|-------|------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|

|   |                                                                   | компетенции |                                                                                        |
|---|-------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Основные понятия квантовой механики                               | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 2 | Операторная формулировка квантовой механики                       | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 3 | Уравнение Шредингера                                              | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 1 | Основные результаты термодинамического метода                     | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 2 | Статистический метод                                              | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 3 | Физические задачи, решаемые с использованием распределения Гиббса | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 1 | Введение в электродинамику                                        | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 2 | Полная система уравнений Максвелла                                | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 3 | Электростатика                                                    | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 4 | Постоянный ток                                                    | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 5 | Квазистационарные процессы                                        | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |
| 6 | Плоские волны                                                     | ОПК-1       | Тест, контрольная работа, защита практических и самостоятельных работ, защита реферата |

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

## **знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие: Для вузов. В 10 т. Т.III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – М.: Физматлит., 2002.

2. И.М. Шушлебин, Л.И. Янченко Учебное пособие «Квантовая механика в задачах и вопросах» для практических занятий по дисциплине «Квантовая механика» для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (направленность «Физическая электроника»), направление 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» (направленность «Техника и физика низких температур»), направление 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (направленность «Компоненты микро- и наносистемной техники») очной формы обучения Печ. ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет Воронеж, 2018, 83 с.

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.В. Под ред. Л.П. Питаевского Теоретическая физика: В 10 т.: том 5, ч.1: Статистическая физика. Учеб. Пособие, М.: Физматлит, 2002 г., 616 с. Печатн.

4. И.М. Шушлебин, Л.И. Янченко Учебное пособие «Избранные главы теоретической физики: статистическая физика» для лекционных и практических занятий по дисциплине «Теоретическая физика» и «Статистическая физика» ФГБОУ ВО «ВГТУ» Воронеж 2019. 89 с Эл.

5. Л.И. Янченко Методические указания к практическим занятиям по курсу «Статистическая физика» для студентов направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / ГОУВПО. «Воронежский государственный технический университет» Воронеж, ВГТУ, 2009. 33 с. Печ

1. Гроот С.Р. Электродинамика: Пер. с англ. / С.Р. де Гроот, Л.Г. Сатторп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 560 с.
2. Сомов А.М. Электродинамика: Учебное пособие / А.М. Сомов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2011. – 198 с.
3. Коростелев Ю.С. Электродинамика – это просто: учебное пособие / Ю.С. Коростелев, А.В. Пашин. – Самара. Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. – 132 с.
4. Боков Л.А. Электродинамика и распространение волн: учебное пособие / Л.А. Боков, В.А. Замотринский, А.Е. Мандель. – Томск: Томский государственный университет система управления и радиоэлектроники, 2013. – 410 с.
5. Электродинамика и распространение волн: учебное пособие / Д.Ю. Муромец, Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов, А.В. Рябов, Е.В. Головченко. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 200 с.
6. Шостак А.С. Электродинамика сплошных сред: курс лекций / А.С. Шостак. – Томск: ТУСУР, 2012. – 190 с.
7. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: В 10 т.: учеб. пособие. Т.VIII. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского. – 4-е изд., стереотип. – М.: Физматлит, 2003. – 656 с.
8. Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике: Для вузов. – М.: Наука, 1977. – 318 с.
9. Сборник задач по теоретической физике: учебное пособие для физических специальностей вузов / Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич, А.М. Федорченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 319 с.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Автоматизированный измерительный комплекс сбора и предварительной обработки экспериментальных данных

Графическая обработка экспериментальных данных Origin 8.0

Microsoft Word, Origin, Google Chrome.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
  2. Учебно-научная лаборатория “Нанотехнологии и наноматериалы”.
  3. Учебно-научная лаборатория “Технология материалов электронной техники”.
  4. Учебно-научная лаборатория “Физических методов исследования”.
- Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основой изучения дисциплины «Теоретическая физика» являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета волновых функций квантовых частиц из уравнения Шредингера; статистических закономерностей систем большого числа классических и квантовых частиц. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой практических и самостоятельных работы.

| Вид учебных занятий                   | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция                                | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.           |
| Практическое занятие                  | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul> |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой, экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                                                      |