

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»**

Кафедра Физики

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«ОБЩАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ»**

основной образовательной программы по специальности 010701.65 - Физика

Благовещенск 2012

УМКД разработан канд. физ.-мат. наук, доцентом Польшиным Василием Ивановичем

Рассмотрен на заседании кафедры физики

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

**СОГЛАСОВАНО:**

Протокол заседания УМСС \_\_\_\_\_

№ \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель УМСС \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>I. Методический раздел</b>	<b>Стр. 4</b>
1.1.Рабочая учебная программа дисциплины	<b>4</b>
1.2.Методические рекомендации для преподавателя	<b>15</b>
1.3.Методические рекомендации студентам по самостоятельному изучению дисциплины	<b>15</b>
<b>II. Обучающий раздел</b>	<b>17</b>
2.1. Курс лекций	<b>17</b>
2.2. Темы практических занятий	<b>22</b>
2.3. Технические средства обучения, наглядные пособия	<b>23</b>
<b>III.Контролирующий раздел</b>	<b>23</b>
3.1. Вопросы для самоконтроля	<b>23</b>
3.2. Задания для контрольных работ	<b>24</b>
3.3. Вопросы для подготовки к экзамену	<b>31</b>
3.4. Экзаменационные билеты	<b>32</b>

## **I. МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

### **1.1. Рабочая учебная программа дисциплины**

#### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель изучения дисциплины «Общая физика» состоит в том, чтобы представить физическую теорию как обобщение наблюдений, практического опыта и эксперимента. Физическая теория выражает связи между физическими явлениями и величинами в математической форме. Поэтому курс физики имеет два аспекта:

- он должен ознакомить студента с основными методами наблюдения, измерения и экспериментирования, а также сопровождается необходимыми физическими демонстрациями и лабораторными работами в общем физическом практикуме;
- курс не сводится лишь к экспериментальному аспекту, а должен представлять собой физическую теорию в адекватной математической форме, чтобы научить студента использовать теоретические знания для решения практических задач, как в области физики, так и на междисциплинарных границах физики с другими областями знаний. Поэтому курс должен быть изложен на соответствующем математическом уровне и с достаточной широтой, позволяющей точно обозначить эти междисциплинарные границы.

Для достижений указанных целей необходимо:

- сообщить студенту основные принципы и законы физики и их математическое выражение;
- ознакомить его с основными физическими явлениями, методами их наблюдения и экспериментального исследования, с главными методами точного измерения физических величин, с методами обработки и анализа результатов эксперимента, с основными физическими приборами.
- сформировать у студента навыки экспериментальной работы;
- ознакомить его с основными принципами автоматизации физического эксперимента, научить правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать задачи, оценивать порядки физических величин;
- дать студенту ясное представление о границах применимости физических моделей и гипотез;
- развить у него любознательность и интерес к изучению физики;
- дать студенту понимание важнейших этапов истории развития физики, ее философских и методологических проблем.

Объем материала, указанного в программе, не может быть полностью изложено в количестве лекций, которое предусмотрено типовым учебным планом университетов. Поэтому программа может быть выполнена лишь при полном и целесообразно использовании лекций, семинарских, лабораторных занятий и времени для самостоятельной работы студентов. План курса лекций определяется лектором. Однако курс не может быть совокупностью обзорных лекций по отдельным проблемам, а должен представлять собой единое изложение основного фундаментального материала программы. Этот материал должен быть изложен на лекциях с полным экспериментальным и математическим обоснованием и достаточно подробно.

С остальным материалом студент должен быть ознакомлен на качественном описательном или даже понятийно-терминалогическом уровне.

#### **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Цикл ЕН – общие математические и естественнонаучные дисциплины.

ЕН.Ф.01. Общая Физика. Физика атомов и атомных явлений.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ ГОС К СОДЕРЖАНИЮ КУРСА

Микромир. Волны и кванты. Частицы и волны. Основные экспериментальные данные о строении атома. Основы квантово-механических представлений о строении атома. Одноэлектронный атом. Многоэлектронные атомы. Электромагнитные переходы в атомах. Рентгеновские спектры. Атом в поле внешних сил. Молекула. Макроскопические квантовые явления. Статистические распределения Ферми — Дирака и Бозе - Эйнштейна. Энергия Ферми. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

#### 1. Знать:

- основные понятия, законы и модели атомной физики, методы теоретических и экспериментальных исследований в физике,
- фундаментальные явления и эффекты в области физики, экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в этой области.

**2. Уметь:** правильно соотносить содержание конкретных задач с общими законами физики, эффективно и применять общие законы физики для решения конкретных задач в области физики и на междисциплинарных границах физики с другими областями знаний; пользоваться основными физическими приборами, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи, обрабатывать, анализировать и оценивать полученные результаты; строить и использовать для изучения этих моделей доступный ему математический аппарат, включая методы вычислительной математики; использовать в работе справочную и учебную литературу, находить другие методы, необходимые источники информации и работать с ними.

**3. Владеть:** Основами теоретических знаний для решения практических задач в области физики атомов и атомных явлений и на междисциплинарных границах физики с другими областями знаний; соответствующим математическим аппаратом для освоения основных положений теории и решения практических задач.

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика атомов и атомных явлений» составляет 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	семестр	Виды учебной работы			Формы текущего контроля
			Лекции (час.)	Практические занятия (час.)	СРС (час.)	
1	2	3	4	5	6	7
1	<b>1. Микромир</b>	5	2			Коллоквиум
2	<b>2. Волны и кванты</b>	5	4		4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач), коллоквиум Контрольная работа №1
3	<b>3. Частицы и волны</b>	5	4	2	4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач), коллоквиум Контрольная работа №1

1	2	3	4	5	6	7
4	<b>4. Основные экспериментальные данные о строении атома</b>	5	2	2	4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач), коллоквиум Контрольная работа №1
5	<b>5. Основы квантово-механических представлений о строении атома</b>	5	4	2	8	Домашнее задание (самостоятельное решение задач), коллоквиум Контрольная работа №1
6	<b>6. Одноэлектронный атом</b>	5	6	4	8	Коллоквиум. Контрольная работа №1
7	<b>7. Многоэлектронные атомы</b>	5	6	2	8	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
8	<b>8. Электромагнитные переходы в атомах</b>	5	2		2	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
9	<b>9. Рентгеновские спектры</b>	5	2		4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
10	<b>10. Атом в поле внешних сил</b>	5	4		6	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
11	<b>11. Молекулы</b>	5	4	2	6	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
12	<b>12. Макроскопические квантовые явления</b>	5	6	2	6	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
13	<b>13. Статистическое распределение Ферми-Дирака</b>	5	4		2	Домашнее задание (самостоятельное решение задач). Контрольная работа №2
14	<b>14. Энергия Ферми</b>	5	2	2	8	Домашнее задание (самостоятельное решение задач) Контрольная работа №2
15	<b>15. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа</b>	5	2		2	
	<b>Итого</b>		54	18	72	

## **5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1. ЛЕКЦИИ**

#### **1. Микромир**

Специфика законов микромира.

#### **2. Волны и кванты**

Флуктуации светового поля. Фотоэффект и уравнение Эйнштейна. Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна. Опыты Иоффе и Добронравова, опыт Бате. Флуктуации светового потока. Опыт С.И. Столетова. Эффекта Комптона. Электроны отдачи. Энергия и импульс фотона. Давление света. Тепловое излучение. Единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения.

#### **3. Частицы и волны**

Корпускулярно-волновой дуализм: преломление света, эффект Доплера, дифракционная решетка. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальное подтверждение гипотезы де-Бройля: метод Брега, опыты Девесона и Джемера, Дебая-Шерра, опыты Тарковского и Томпсона. Интерференционные явления с молекулярными пучками и нейтронами. Волновой пакет и частица. Статистическое истолкование волн де-Бройля. Соотношение неопределенностей. Соотношение неопределенности и принцип причинности. Волновая функция и ее волновой смысл. Общее уравнение Шредингера. Движение свободной частицы. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.

#### **4. Основные экспериментальные данные о строении атома**

Опыты Резерфорда. Опыт Франка и Герца. Опыты Чадвика. Изучение спектральных серий атомов водорода.

#### **5. Основы квантово-механических представлений о строении атома**

Атомные модели и квантовые постулаты Бора. Обобщения формула Бальмера. Спектральные термы. Комбинационный принцип. Квантование круговых орбит. Теория Бора. Диаграммы уровней энергии. Квантование водородоподобного атома по Бору-Зоммерфельду. Принцип соответствия. Кризис теории Бора.

#### **6. Одноэлектронный атом.**

Атом водорода в квантовой механике. Энергия, квантовые числа, спектр. Спин электрона. Принцип торжественности. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям.

#### **7. Многоэлектронные атомы**

Основные положения теории многоэлектронных атомов. Атом гелия. Энергетический спектр атома гелия. Оптические спектры щелочных металлов. Общие сведения о строении сложных атомов. Энергетический уровень атомов щелочных металлов. Основные серии.

#### **8. Электромагнитные переходы в атомах**

Изучение возбужденных атомов. Спонтанное излучение. Поглощение и вынужденное излучение. Свойство индуцированного излучения. Оптические квантовые генераторы (лазеры).

#### **9. Рентгеновские спектры**

Рентгеновские спектры атомов. Тормозное излучение. Характеристические спектры атомов и строение их внутренних оболочек, закон Мозли. Открытие периодического закона Менделеева. Заполнение электронных оболочек. Периодичность свойств элементов.

#### **10. Атом в поле внешних сил**

Эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Эффект Штарка. Излучение Черенкова-Вавилова.

## 11. Молекулы

Основные виды химической связи. Гетерополярные молекулы. Молекула водорода. Гомеополярные атомные молекулы. Спин и симметрия состояний. Теория валентности. Сила Ван-дер-Ваальса. Молекулярные спектры. Электронные спектры. Электронные спектры двух атомных молекул. Колебательная и вращательная структура терминов. Комбинационное рассеяние света.

## 12. Макроскопические квантовые явления

Симметрия кристаллических и законы Бриллюэна. Уравнение Шредингера и волновая функция электрона, движущегося в периодическом поле. Энергетический спектр электрона, образование зон. Заполнение энергетических зон. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков. Проводимость металлов. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Проводимость в магнитном поле. Эффект Холла. Квантовые колебания кристаллической решетки, фотоны. Типы твердых тел.

## 13. Статистическое распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна

Квантовая статистика. Фазовое пространство. Функция распределения. Идеальный Бозе-газ. Статистика Бозе-Эйнштейна. Ферми-газ. Статистика Ферми-Дирака. Вырожденный и невырожденный электронный газ.

## 14. Энергия Ферми

Заполнение уровней энергии в зоне. Энергия Ферми. Изоэнергетические поверхности. Закон дисперсии. Эффективная масса электрона. Плотность электронных состояний, зависимость от энергии. Электронные дырки. Уровень Ферми в металлах, полуметаллах, полупроводниках и диэлектриках.

## 15. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа

Идеальный бозе-газ. Сверхтекучесть. Газ ферми-частиц. Сверхпроводимость. Эффект Джозефсона. Эффект Майснера.

### 5.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№	Тема	Задачи для аудиторных занятий [3 доп]	Домашнее задание [3 доп]	Число часов
1.	Частицы и волны	6.2 6.4 6.6 6.12 6.10 6.16	6.3 6.5 6.7 6.9 6.11 6.13 6.17	2
2.	Основные экспериментальные данные о строении атома.	6.21 6.24 6.25 6.27 6.37	6.22 6.25 6.28 6.30 6.35 6.39 6.45	2
3.	Основы квантово-механических представлений о строении атома.	6.49 6.53 6.57 6.58 6.67 6.71	6.50 6.54 6.59 6.68 6.70 6.69 6.73	2
4.	Одноэлектронный атом.	6.72 6.77 6.80 6.82 6.85 6.90	6.73 6.78 6.80 6.83 6.87 6.89 6.94	2
5.	Контрольная работа №1			2
6.	Многоэлектронные атомы.	6.97 6.99 6.104 6.107 6.124 6.110	6.100 6.105 6.116 6.120 6.123 6.122 6.133 6.134	2
7.	Молекулы.	6.167 6.169 6.171 6.173 6.175 6.179	6.168 6.170 6.172 6.174 6.176 6.178	2
8.	Макроскопические квантовые явления	6.186 6.188 6.190 6.191 6.199 6.204	6.189 6.192 6.194 6.201 6.209 6.211 6.212 6.213	2
9.	Контрольная работа №2			2
10.	Итого за семестр			18



## **6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ**

- 1. Подготовка к практическим занятиям и семинарам:** темы – в соответствии с таблицей практических занятий, содержание – в соответствии с программой.
- 2. Выполнение домашних заданий** – в соответствии с таблицей практических занятий.
- 3. Подготовка к контрольным работам** - в основном состоит в выполнении домашних задач и краткого повторения. Темы - в соответствии с таблицей практических занятий.
- 4. Выполнение индивидуального домашнего задания (РГР).**

Индивидуальное задание представляет собой набор задач по изучаемым темам. Количество задач, их источник и номера определяется преподавателем и сообщается студенту в начале семестра. Все задания выполняются студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу, опираясь на изученный теоретический материал, изложенный в лекционном курсе, и проработанный на практических аудиторных занятиях. Индивидуальное задание сдается на проверку по частям (1÷3 задачи) в течение семестра (по мере изучения соответствующих разделов).

Индивидуальное задание зачитывается, если решения не содержат ошибок принципиального характера и выполнены все требования по оформлению.

Незначительные задачи индивидуального задания должны быть выполнены заново и представлены на повторную проверку вместе с первоначальной работой и замечаниями преподавателя. На исправление замечаний отводится недельный срок со дня их выдачи после первой проверки.

- 5. Подготовка к коллоквиуму.** Коллоквиум – 9 уч. неделя семестра. На коллоквиум выносятся следующие вопросы (см. список вопросов к экзамену): 1-15 вопросы.
- 6. Подготовка к экзамену.** Подготовка осуществляется в соответствии с вопросами, выносимыми на экзамен.
- 7. Вопросы изучаемые самостоятельно.**
  1. Флуктуация светового потока. Опыт С.И. Столетова.
  2. Интерференционные явления с молекулярными пучками.
  3. Опыты Чадвика.
  4. Атомные орбитали.
  5. Дублетный характер рентгеновских спектров.
  6. Оптические квантовые генераторы.
  7. Статистическое распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
  8. Излучение Черенкова-Вавилова.
  9. Эффект Майснера.

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **7.1. Методы применяемые в обучении**

При чтении лекций по данной дисциплине используется активный неимитационный метод обучения «проблемная лекция». Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал данного раздела. При постановке задачи может использоваться демонстрационный эксперимент.

На практических занятиях используются неигровые имитационные методы обучения «контекстное обучение» и «метод группового решения творческих задач».

**7.2. Информационные технологии.** При чтении лекций используются мультимедийные презентации, видео-демонстрации.

**7.3. Информационные системы.** При разработке лекционных и практических занятий используются материалы электронных библиотек и электронные базы учебно-методических ресурсов, указанных в п.10в. настоящей программы, а также электронный ресурс библиотеки АмГУ (<http://www.biblio@amursu.ru/>). Перечисленные электронные ресурсы также рекомендуются для самоподготовки студентов.

**7.4. Инновационные методы контроля:** компьютерное интернет-тестирование.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **8.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Корпускулярные свойства электро-магнитных волн, основные эксперименты: фотоэффект (основные закономерности, уравнение Эйнштейна), эффект Комптона (основные закономерности, законы сохранения энергии и импульса, комптоновская длина волны электрона), флуктуации интенсивности светового потока (опыты Вавилова, Брауна и Твисса).
2. Волновые свойства микрочастиц, основные эксперименты: эффект Рамзауэра и Таунсенда, Дэвиссона и Джермера, Томсона и Гартаковского.
3. Волны де Бройля: уравнения де Бройля, уравнения для волн де Бройля, фазовая и групповая скорости. Амплитуда волны де Бройля, волновая функция. Корпускулярно - волновой дуализм.
4. Дискретность атомных состояний, основные эксперименты: закономерности излучения абсолютно черного тела, формула Планка, опыты Франка и Герца, основные закономерности в спектрах поглощения и излучения атомов, комбинационный принцип Ритца.
5. Модель Бора для водородоподобных систем: постулаты Бора, правило квантования орбит, энергия электрона на стационарных орбитах, диаграмма уровней энергии, спектральные серии.
6. Стационарные состояния квантовой системы. Волновая функция. Нормировка волновой функции. Принцип суперпозиции состояний. Стационарное уравнение Шредингера.
7. Представление динамических переменных посредством операторов (координаты, время, импульс, момент импульса, энергия).
8. Условие одновременной измеримости (определимости) динамических переменных. Коммутаторы операторов. Соотношения неопределенностей.
9. Свободное движение микрочастицы.
10. Движение микрочастицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.
11. Движение микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины, туннельный эффект.
12. Гармонический осциллятор.
13. Электрон в периодическом потенциале.
14. Движение микрочастицы в поле центральных сил: уравнение Шредингера, разделение переменных, угловая волновая функция, диаграммы угловых волновых функций, индексация состояний.
15. Движение микрочастицы в поле центральных сил: квантование модуля момента импульса, пространственное квантование.
16. Атом водорода: уравнение Шредингера, основные этапы решения. Решение углового уравнения, угловая волновая функция, диаграммы угловых волновых функций, индексация состояний.
17. Атом водорода: уравнение Шредингера, основные этапы решения. Решение радиального уравнения, радиальная волновая функция, энергии стационарных состояний электрона.
18. Атом водорода: стационарные состояния, квантовые числа, волновые функции, атомные орбитали, вырожденные состояния, диаграммы плотности вероятности (угловые и радиальные функции распределения).
19. Атомы щелочных металлов: уравнение Шредингера для валентного электрона, угловые волновые функции, стационарные состояния валентного электрона.

20. Механический и магнитный орбитальный момент электрона в поле центральных сил (классическая теория).
21. Механический и магнитный орбитальный момент электрона в поле центральных сил (квантовая теория).
22. Спин электрона (гипотеза Уленбека и Гаудсмита, собственный механический и магнитный момент, пространственное квантование, гиромагнитное отношение).
23. Правила сложения моментов электронов в оболочке атома.
24. Механический момент электронной оболочки, типы связи.
25. Магнитный момент электронной оболочки атома: векторная модель в приближении L-S связи, множитель Ланде, классификация состояний.
26. Спин - орбитальное взаимодействие, тонкая структура термов.
27. Основы теории электронных переходов. Электро-дипольные квантовые переходы, правила отбора.
28. Сериальные закономерности в спектре атома водорода. Тонкая структура спектральных линий.
29. Сериальные закономерности в спектрах атомов щелочных металлов. Тонкая структура спектральных линий.
30. Эффект Зеемана, случай слабого магнитного поля.
31. Эффект Зеемана, случай сильного магнитного поля, эффект Пашена - Бака.
32. Электронный парамагнитный резонанс.
33. Сверхтонкая структура термов и спектральных линий.
34. Закономерности строения электронных оболочек атомов, порядок заполнения состояний, периодическая система элементов.
35. Электронные конфигурации и термы многоэлектронных атомов. Правила Хунда.
36. Термы многоэлектронных атомов с эквивалентными электронами.
37. Атом гелия: электронные термы, энергетическая диаграмма, оптический спектр.
38. Атом гелия, полная волновая функция, симметричные и антисимметричные волновые функции, принцип Паули.
39. Атом гелия: учет взаимодействия электронов, кулоновский интеграл, обменный интеграл.
40. Тормозное рентгеновское излучение, переходы внутренних электронов в атомах, характеристическое рентгеновское излучение, закон Мозли, дублетный характер рентгеновских спектров, эффект Оже.
41. Химическая связь, типы химической связи.
42. Ион молекулы водорода, метод орбиталей.
43. Молекула водорода, волновые функции, энергия взаимодействия, полный спин молекулы.
44. Структура молекул, метод молекулярных орбиталей, метод валентных связей, гибридизация.
45. Колебательные и вращательные спектры молекул.
46. Классификация электронных состояний молекулы, электронные спектры, принцип Франка-Кондона.

## **8.2. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Специфика законов микромира.
2. Единство волновых и корпускулярных свойств света. Фотоэффект и уравнение Эйнштейна.
3. Эффект Комптона. Электроны отдачи.
4. Единство волновых и корпускулярных свойств излучения. Энергия и импульс фотона. Давление света. Законы теплового излучения. Формула Планка.

5. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де-Бройля. Свойство волн де-Бройля. Экспериментальное подтверждение волн де-Бройля. Статистическое истолкование волн де-Бройля.
6. Волновой пакет и частица.
7. Соотношения неопределенностей. Принцип причинности.
8. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Движение свободной частицы.
9. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме.
10. Линейный гармонический осциллятор.
11. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Туннельный эффект.
12. Модель атома Томпсона. Опыты Резерфорда. Модель атома Резерфорда. Спектральные серии атома водорода. Формула Бальмера-Ридберга. Опыты Чадвика.
13. Атомные модели и квантовые постулаты Бора. Спектральные термы. Комбинационный принцип. Диаграмма уровней энергии. Опыты Франка и Герца.
14. Теория Бора. Квантование водородоподобного атома. Принцип соответствия. Кризис теории Бора.
15. Атом водорода в квантовой механике. Энергия, квантовые числа, спектр. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.
16. Система тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Распределение электронов по состояниям.
17. Основные положения теории многоэлектронных атомов. Заполнение электронных оболочек. Правило Хунд.
18. Периодический закон Д.И. Менделеева.
19. Рентгеновские спектры атомов. Тормозное излучение. Характеристическое излучение. Закон Мозли.
20. Орбитальный магнитный момент и теорема Лармора. Пространственное квантование.
21. Эффект Штарка. Эффект Зеемана.
22. Комбинационное рассеяние света. Стоксовы и антистоксовы спутники.
23. Поглощение, спонтанное и индуцированное излучение. Квантовые генераторы (лазеры). Свойства лазерного излучения.
24. Излучение Черенкова-Вавилова.
25. Основные виды химической связи. Силы Ван-дер-Ваальса.
26. Молекулярные спектры. Энергия молекулы.
27. Уравнение Шредингера и волновая функция электрона, движущегося в периодическом поле.
28. Энергетический спектр электрона. Образование энергетических зон. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков.
29. Проводимость металлов.
30. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Фотопроводимость.
31. Квантовая статистика. Фазовое пространство. Функция распределения. Идеальный бозе-газ. Статистика Бозе-Эйнштейна.
32. Ферми-газ. Статистика Ферми-Дирака. Вырожденный и невырожденный электронный газ.
33. Заполнение уровней энергии в зоне. Энергия Ферми. Изоэнергетические поверхности. Уровень Ферми в металлах и полупроводниках.
34. Закон дисперсии. Эффективная масса электрона.
35. Неидеальный бозе-газ. Сверхтекучесть. Квантовая природа сверхтекучести.
36. Газ ферми-частиц. Сверхпроводимость. Квантовая природа. Эффект Джозефсона. Эффект Майснера.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики : В 5 кн.: учеб. пособие/ И. В. Савельев. -М. : Астрель : АСТ. –  
Кн. 5 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. -2004, 2003.-368 с.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики : в 5 т. : учеб. пособие : рек. Мин. обр. РФ/ Д. М. Сивухин. -3-е изд., стер.. -М. : Физматлит. -2006  
Т. 5 : Атомная и ядерная физика. -2006.-783 с.
3. Фриш С.Э. Курс общей физики : В 3 т.: учеб./ С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. -8-е изд., стер.. -СПб. : Лань. -2006.  
Т. 3 : Оптика. Атомная физика. -2006.-649 с.

### б) дополнительная литература

1. Абдрахманова А.Х. Элементы квантовой оптики и атомной физики : учеб. пособие: доп. Мин. обр. РФ/ А. Х. Абдрахманова, О. П. Шмакова, Е. С. Нефедьев. -М.: Книжный дом Университет, 2006.-119 с.
2. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике : учеб. пособие: рек. НМС/ И.В. Савельев. – 3-е изд., стер.. – СПб.: Лань, 2005. - 288 с.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие: рек. НМС Мин. обр. РФ/ И. Е. Иродов. -10-е изд., стер.. -СПб.: Лань, 2006, 2007. -416 с.
4. Сборник задач по общему курсу физики : [в 5 кн.]/ В. Л. Гинзбург [и др.]. -5-е изд., стер.. -М. : Физматлит. -2006.  
Кн. 5 : Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц/ под ред. Д. В. Сивухина.- 184 с.
5. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов/ Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. -8-е изд., перераб. и испр.. -М.: ОНИКС: Мир и Образование, 2007.-1055 с.

### в) периодические издания

- Журнал «Успехи физических наук»  
Журнал «Известия вузов. Физика»  
Журнал «Известия РАН. Серия физическая»

### г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	Свободная энциклопедия Википедия <a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>	Интернет-энциклопедия образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочники, а так же статьи различной тематики. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания.
2	Электронная библиотечная система «Университетская библиотека-online» <a href="http://www.biblioclub.ru">www.biblioclub.ru</a>	ЭБС по тематике охватывает всю область естественно-научных знаний и предназначена для использования в процессе обучения в высшей школе, как студентами так и преподавателями.
3	<a href="http://www.toehelp.ru">http://www.toehelp.ru</a>	Сайт содержит необходимую литературу (книги) и другой теоретический материал для самостоятельной работы студентов и их подготовки к экзаменам, а так же примеры решение задач по физике, высшей математике, программированию.

4	Студентам и школьникам курсы общей физики. Полные курсы по общей физике <a href="http://www.ph4s.ru">http://www.ph4s.ru</a>	Некоммерческий проект, создан с целью оказания помощи школьникам и студентам в изучении физики и других предметов. На этом ресурсе размещены различные материалы: учебники, задачки, лекции, другие учебные пособия. Все выложенные материалы бесплатны и при скачивании не требуют каких-либо регистраций.
5	NeHudLit.Ru НЕХУДОЖЕСТВЕННАЯ БИБЛИОТЕКА <a href="http://nehudlit.ru/books/subcat267.html">http://nehudlit.ru/books/subcat267.html</a>	Справочники и энциклопедии. Электронные книги и журналы в различных форматах. Множество новинок! Только для Студентов. Учебники, справочники, учебная литература.
6	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. <a href="http://dxdy.ru/fizika-f2.html">http://dxdy.ru/fizika-f2.html</a>	Помощь в решении стандартных студенческих задач по физике (при условии самостоятельных попыток решения и готовности думать). Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы сети, содержащие материалы по физике.
7	Большое собрание электронных книг <a href="http://book-i12.ru/">http://book-i12.ru/</a>	Учебная литература студентам ВУЗов . Теоретическая физика. Естественные науки. Математика.

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Комплект ТСО

1. Интерактивная доска
2. Видеопроектор Epson
3. Цв.телевизор ABEST-03г.
4. Графопроектор-2400 -02г.
5. Оверхед-проектор Geha 240/3 02г.
6. Проектор «Альфа-203»
7. Мультимедийный проектор-03г
8. Ноутбук Пентиум 100-03г.

## **1.2. Методические рекомендации для преподавателя**

Курс «Физика атомов и атомных явлений» является одной из составных частей цикла «Общая физика». Рекомендуется при планировании содержания лекционных курсов, практических, семинарских занятий существенное внимание уделять применению теоретических знаний в профессиональной практике и научной деятельности. Практическая направленность данного курса диктуется требованиями преемственности (межпредметного согласования) дисциплин теоретического блока и дисциплин специализации.

Рекомендуется сочетание в практике преподавания различных видов деятельности студентов: аудиторная (коллективная, индивидуальная) работа, экспериментальная, исследовательская работа (в рамках физического практикума, НИРС), самостоятельная работа (проработка теоретических вопросов, подготовка к практическим и лабораторным занятиям, подготовка к коллоквиуму, экзамену, выполнение расчетно-графических заданий).

## **1.3. Методические рекомендации для студентов по самостоятельному изучению дисциплины**

- 1) Для подготовки к практическим и семинарским занятиям используйте конспекты лекций, учебники и учебные пособия, указанные в списке рекомендуемой основной и дополнительной литературы.
- 2) Прочитайте тему занятия, выделите те вопросы теории, которые подлежат обсуждению в аудитории.
- 3) Прочтите конспект лекции, освещающей данную тему.
- 4) Ответьте на вопросы для самопроверки. При возникновении трудностей с пониманием теоретических основ изучаемой темы, обратитесь к учебнику или методическому пособию. Целесообразно использовать в ходе подготовки учебники разных авторов, где изучаемый вопрос рассматривается с разных методических позиций.
- 5) При выполнении индивидуальных расчетно-графических заданий внимательно просмотрите решение аналогичных задач, рассматриваемых на учебных занятиях, осмыслите методы и методические приемы, используемые при их решении.
- 6) Постарайтесь самостоятельно воспроизвести решение этих задач; при возникновении трудностей вернитесь к тому месту в конспекте, который вызвал затруднения. Вновь повторите эту процедуру – до тех пор, пока воспроизведение не станет уверенным.
- 7) Освоив методику решения данного класса задач, приступайте к решению задач из индивидуального задания. При этом придерживайтесь следующих правил:
  - Запишите краткие условия; выясните, что известно и что требуется найти.
  - Сделайте чертеж, изобразите схему или график, поясняющий суть задачной ситуации;

- Выделите объекты задачи и выясните природу происходящих с ними изменений (процессов). Запишите ключевые отношения, законы, описывающие данное физическое явление.
  - Примените эти отношения к системе объектов задачи, получите математическую модель физической системы (процесса), описанной в задаче: как правило, это система уравнений, решение которой дает ответ на требования задачи.
  - Оформите аккуратно решение задачи на листе формата А4.
- 8) На практических и семинарских занятиях целесообразно иметь при себе конспекты лекций, учебники и учебные пособия, в которых изложена теория и методика решения задач по данному учебному курсу.



## II. ОБУЧАЮЩИЙ РАЗДЕЛ

### 1.2. Курс лекций

#### Тема 1. Микромир

Протяженность области микромира  $10^{-8} - 10^{-17}$  м. объекты – структурные единицы деления материи: молекулы и атомы, ядра атомов, элементарные частицы. Размеры объектов  $10^{-8} - 10^{-17}$  м. массы объектов  $0 - 10^{-27}$  кг. Состав объекта: молекулы и атомы, ядра и электроны, нуклоны. Типы взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное. Область физических явлений: атомные явления и атомные спектры, физика атомного ядра, взаимодействие элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия и их проявление в природе. Микроуровень рассмотрения физических явлений и квантовые представления. Релятивистские идеи.  $10^{-8} - 10^{-17}$  м.

#### Тема 2. Волны и кванты

Фотоэлектрическим эффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Открыл Г.Герц в 1887г. Исследование А.Г. Столетова фототока в зависимости от приложенной разницы потенциалов между электродами. Выводы: 1. Наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи; 2. Сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины; 3. Испускаемые под действием света частицы имеют отрицательный заряд. Для обращения фототока в нуль нужно приложить задерживающее напряжение.

В 1905 г. Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта объясняются излучением и поглощением света квантами.

Закон сохранения энергии для фотоэффекта: энергия поглощенного кванта расходуется на совершение работы выхода электрона из металла и придание электрону кинетической энергии. Существует красная граница фотоэффекта. Опыт Бооте подтвердил существование фотонов. Энергия и импульс фотона. Давление света. Отраженный фотон сообщает стенке импульс  $2p$ . Опыты Иоффе и Добронравова – подтверждение корпускулярных свойств света. Флуктуации светового потока.

Эффект Комптона. В 1923г. Комpton исследуя рассеяние рентгеновских лучей различными веществами обнаружил, что в рассеянных лучах наряду с первоначальной длиной волны содержатся лучи большей длины волны. В эффекте Комптона отчетливо проявляются корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Выполняется закон сохранения энергии и импульса для упругого столкновения рентгеновского фотона и свободного электрона. Электроны отдачи. Комптоновская длина волны. Единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения. Давление света, опыты Лебедева. Тепловое излучение, формула Планка. Длинноволновое излучение проявляет более волновые свойства, а коротковолновые – корпускулярные.

#### Тема 3. Частицы и волны

Корпускулярно – волновой дуализм. Волновые свойства частиц, волны де Бройля. В 1924г. де Бройль выдвинул гипотезу, что дуализм не является особенностью одних только оптических явлений, а имеет универсальное значение.

«В оптике – писал он, - в течении столетия слишком пренебрегали корпускулярным способом рассмотрения по сравнению с волновым; ни делалась ли в теории вещества обратная ошибка?» допуская, что частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые, де Бройль применил для частиц вещества те же правила перехода от одной картины к другой, как и в случае света: фотон обладает энергией и импульсом; движение частиц связано с волновым процессом. Частицы обладают длиной волны и частотой. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля было получено в опытах Девиссона и Джермера в 1927г. по отражению электронов от монокристалла никеля. Было получено блестящее совпадение длины волны вычисленной и измеренной в опыте по брегговскому отражению. В 1927г. в опытах Томпсона и независимо от него Тартаковского получена дифракционная картина

при прохождении электронного пучка через металлическую фольгу. Интерференционные явления с молекулярными пучками и нейтронами.

Соотношение неопределенностей и уравнение Шредингера. Статистическое истолкование волн де Бройля, мысленные эксперименты по дифракции электронов на узкой щели. Понятие траектории для микрочастиц и прямолинейное распространение света, пределы применимости.

Принцип неопределенности Гейзенберга: произведение неопределенностей значений двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка. Соотношение неопределенностей для произведения энергии на время и произведение координаты и импульса. Пример расчета для луча электронно-лучевой трубки.

Волновая функция - пси как характеристика состояния микрочастиц. Смысл пси – функции.

Уравнение Шредингера, содержащее время и для стационарных состояний. Шредингер установил свое уравнение исходя из оптико-механической аналогии. Эта аналогия заключается в сходстве уравнений, описывающих ход световых лучей с уравнениями, определяющими траектории частиц в аналитической механике. В оптике ход лучей удовлетворяет принципу Ферма, в механике вид траектории удовлетворяет принципу меньшего действия.

Операторы: Лапласа, гамильтониан. Собственные значения и собственные функции. Движение свободной частицы. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии.

Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Вид барьера. Уравнение Шредингера. Характеристическое уравнение. Пси-функция для 1,2,3 областей. Равенство пси-функции и ее производной на границах барьера. Вывод коэффициента отражения. Коэффициент прохождения, зависимость его от ширины барьера и от массы частицы. Туннельный эффект.

Гармонический осциллятор, уравнение Шредингера. Конечные, однозначные и непрерывные его решения. Эквидистантность уровней энергии. Нулевая энергия. Квантовые числа. Правила отбора для квантовых чисел. Изменение энергии гармонического осциллятора порциями (квантами).

#### **Тема 4. Основные экспериментальные данные о строении атома.**

1. Опыты Резерфорда. Расположение положительных и отрицательных зарядов в атоме можно выяснить, производя непосредственное опытное «зондирование» внутренних областей атома. Резерфорд и его сотрудники с помощью  $\alpha$  – частиц произвели такое зондирование, наблюдая изменение направления их полета (рассеяние) при прохождении через тонкие слои вещества. Опыт осуществлялся следующим образом: выделяемый отверстием узкий пучок  $\alpha$  – частиц, испускаемый радиоактивным веществом падал на тонкую металлическую фольгу. При прохождении через фольгу  $\alpha$  – частицы отклонялись от первоначального направления движения на различные углы. Рассеянные  $\alpha$  – частицы ударялись об флюоресцирующий экран, а вызываемое свечение наблюдалось в микроскоп. Анализируя результаты опытов Резерфорд пришел к выводу, что такое рассеяние возможно если в нутрии атома имеется положительно заряженный центр большой массы и очень малого объема по сравнению с размерами атома.

2. Опыт Чадвика. Условия опыта позволили точно определить  $N$  – число осцилляций создаваемых падающими  $\alpha$  – частицами и  $dN$  – число осцилляций создаваемых рассеянными на угол  $\Theta$ . Вследствие чего удалось определить заряд ядра  $Z$  с большой точностью и тем самым атомный номер элемента.

3. Изучение спектральных серий атома водорода. Изучение атомных спектров послужило ключом к познанию строения атомов. Атомный спектр это набор линий излучения. Спектры испускания атомов линейчатые. Закономерности в расположении линий в спектре образуют серии. В спектре атома водорода Бальмер в 1885г. установил,

что частоты в видимой области могут быть точно представлены формулой  $\omega = R \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{n} \right)$ , где  $n$  – целое число, принимающее значение 3,4,5...  $R = 2.07 \times 10^{16} \text{ с}^{-1}$  – постоянная Ридберга.

Эту формулу назвали формулой Бальмера.

В спектре атома водорода в ультрафиолетовой области была открыта серия Лаймана. В инфракрасной части спектра серии Пашена, Бреккета и Пфунда. Чистоты этих серий могут быть представлены обобщенной формулой Бальмера.

### **Тема 5. Основы квантово-механических представлений о строении атомов.**

Атомные модели: модель Томсона, ядерная модель Резерфорда. Недостатки моделей. Квантовые постулаты Бора и модель атома Бора. Опыты Франка и Герца по упругому и неупругому взаимодействию электронов с атомами паров ртути в подтверждение существования дискретных энергетических уравнений атома согласно постулатом Бора. Обобщенная формула Бальмера и постоянная Ридберга. Граница серий. Спектральные термы. Частоты линий как разность термов. Связь термов с энергией стационарного состояния атома.

Правила квантования круговых орбит. Постулат Планка о квантованных энергетических состояниях гармонического осциллятора. Фазовая плоскость и фазовая траектория. Фазовая траектория гармонического осциллятора – эллипс. Полуоси эллипса, площадь эллипса. Правила квантования площадей: площадь эллипса в фазовом пространстве пропорциональна целому числу  $h$ . Обобщенные координата  $q$  и обобщенный импульс –  $p$ . Применение понятия обобщенный импульс и обобщенная координата для электрона, движущегося вокруг ядра по круговой орбите. Условия Бора для квантования момента импульса.

Вывод: согласно условию Бора из всех орбит электрона, возможных с точки зрения классической механики, осуществляются только те, для которых момент импульса равен целому кратному постоянной Планка  $h$ .

Элементарная боровская теория водородного атома.

Квантование импульса электрона. Главное квантовое число  $n$ . Радиусы допустимых орбит. Радиус первой боровской орбиты. Внутренняя энергия, дозволённые значения внутренней энергии атома. Переход атома водорода из состояния  $n$  в состояние  $m$  с излучением фотона с энергией  $h\nu$ . Обобщенная формула Бальмера, постоянная Ридберга. Схема энергетических уровней. Физический смысл постоянной Ридберга. Теория Бора – крупный шаг в развитии теории атома. Она показала неприменимость классической физики к внутри атомным явлениям и главенствующие значения квантовых законов в микромире. Недостатки теории Бора опирающуюся на классическую механику. Теория Бора как переходной этап к квантовой теории.

### **Тема 6. Одноэлектронный атом.**

Атом водорода в квантовой механике. Потенциальная энергия электрона. Уравнение Шредингера. Сферическая система координат. Дискретные отрицательные значения энергии электрона. Собственные функции, содержащие квантовые числа:  $n$ ,  $\ell$ ,  $m$  ( $n$ -главное квантовое число,  $\ell$ -азимутальное квантовое число,  $m$ -магнитное квантовое число). Вырожденные состояния. Кратность вырождения энергетического уровня ( $n^2$ ).

Условные обозначения состояний электронов с различными значениями момента импульса. Схема уровней энергии (спектр). Правило отбора азимутального квантового числа, как следствие закона сохранения момента импульса. Переходы между состояниями электронов в спектре и возникновение спектральных серий. Основное и возбуждённое состояние атома водорода. Причины переходов электронов с излучением и поглощением фотонов. Однофотонный процесс поглощения.

Спин электрона. Тонкая структура расщепления линий спектра на компоненты.

Мультиплеты – сложные линии, состоящие из нескольких компонент.

Расщепление спектральных линий обусловлено расщеплением энергетических уровней. Гипотеза Гаудсмита и Уленбека о собственном моменте импульса электрона, не связанном с движением в пространстве (спином). Спин – свойство элементарных частиц (кроме мезонов) одновременно квантовое и релятивистское. Спиновое квантовое число. Собственный магнитный момент электрона. Проекция магнитного момента электрона на заданное направление. Спин – орбитальное взаимодействие и зависимость его энергии от взаимной ориентации орбитального и собственного моментов. Расщепление термов. Правило отбора для квантового числа полного момента импульса атома. Постоянная тонкой структуры – константа связи электронов с электромагнитным полем.

Принцип тождественности (принцип неразличимости одинаковых частиц). Симметричные и антисимметричные пси-функции. Частицы с целыми и полуцелыми сигналами. Принцип Паули: «в одном и том же атоме (или какой-либо другой квантовой системе) не может быть двух электронов (либо других частиц с полуцелым спином), обладающих одинаковой совокупностью квантовых чисел. Состояние электрона и набор квантовых чисел. Оболочки и подоболочки. Распределение электронов по состояниям.

### **Тема 7. Многоэлектронные атомы.**

Основные положения теории многоэлектронных атомов. Результирующий механический момент многоэлектронного атома, два случая сложения. Рёссель-Саундерса связь. Магнитный момент атома. Векторная модель атома. Атом гелия. Энергетический спектр атома гелия.

Оптические спектры щелочных металлов.

Равенство числа орбит щелочных металлов с числом возможных орбит атома водорода по Рождественскому. Схема возможных состояний электронов в атомах щелочных металлов. Правило отбора для переходов между состояниями. Эффективное квантовое число.

Общие сведения о строении сложных атомов. Векторная модель и состояния электронов в атомах щелочных металлов. Схема уровней энергии. Главная и побочные серии в спектре.

### **Тема 8. Электромагнитные переходы в атомах.**

Спонтанные и вынужденные переходы. Работы Эйнштейна по возможности установления равновероятности поглощательных и испускательных переходов. Индуцированное излучение (вынужденное) и его свойства. Направление распространения, частота, фаза и поляризация вынужденного и вынуждающего излучений. Когерентность вынужденного излучения. Лазеры. Инверсная населенность. Отрицательные абсолютные температуры. Трехуровневая система. Полоса возбужденных уровней, метастабильный уровень и основной. Накачка. Каскад излучения. Резонатор. Импульсные лазеры и непрерывно действующие. Рабочие тела лазеров.

### **Тема 9. Рентгеновские спектры.**

Тормозное и характеристическое рентгеновское излучения. Сплошной спектр тормозного излучения и его зависимость от приложенного напряжения. Граница сплошного спектра. Каждый элемент обладает своим характерным линейчатым спектром. Серии характеристического спектра. Строение внутренних оболочек атома. Связь рентгеновского спектра с атомным номером. Закон Мозли. Константа экранировки. Периодический закон Менделеева. Электронная конфигурация атома. Процесс застройки электронных оболочек. Квантовая ячейка, эквивалентные электроны и принцип Паули. Правила Хунда. Периодичность свойств химических элементов в соответствии с заполнением состояний электронных оболочек.

### **Тема 10. Атом в поле внешних сил.**

Эффект Зеемана (открыт в 1895 г). Расщепление энергетических уровней при действии на атомы магнитного поля. Расщепление уровней приводит к расщеплению линий на несколько компонент. Дополнительная энергия атома в магнитном поле. Снятие

вырождения. Три компонента частот – основная и две дополнительные. Поляризация. Правило отбора магнитного квантового числа. Лоренцево или нормальное смещение. Простой эффект Зеемана. Сложный эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).

Эффект Пашена–Бака. В 1912 г. Пашен и Бак открыли, что в очень сильных магнитных полях сложный эффект Зеемана вновь превращается простой: сложная картина расщепления замещается простым триплетом Лоренца.

Эффект Штарка. Открыт в 1913 г. Расщепление спектральных линий под влиянием внешнего электрического поля. Наблюдается линейное расщепление линий по полю  $E$  и квадратичное по полю  $E^2$ . Квадратичное явление Штарка наблюдается на линиях некоторых элементов.

Излучение Черенкова- Вавилова. Излучение света при движении заряженных частиц со скоростями превышающими фазовую скорость света в этой среде. Направленность излучения. Теоретическое объяснение Таммом и Франком. Нобелевская премия за открытие явления и создание теории.

### **Тема 11. Молекула.**

Основные виды химической связи. Гетерополярная (ионная) связь. Молекулы солей. Гомеополярная (ковалентная, атомная) связь. Молекула водорода. Уравнение Шрёдингера для молекулы водорода (двухатомных молекул.) Собственные значения энергии и ее зависимость от расстояния  $R$ . Спин и симметрия состояний. Образование молекулы возможно лишь при сближении атомов с антипараллельными спинами. Минимум энергии взаимодействия. Молекулы с одинаковыми ядрами и различными ядрами. Баланс энергии. Энергия обусловленная электронной конфигурацией, энергия колебательного движения, энергия вращательного движения. Схема энергетических уровней двухатомной молекулы. Полосатые молекулярные спектры. Вращательные полосы. Колебательно-вращательные полосы. Комбинационное рассеяние света. «Фиолетовые» и «красные» спутники и влияние на них температуры. Люминесценция жидких и твердых тел. Правило Стокса. Применение люминесценции.

### **Тема 12. Макроскопические квантовые явления.**

Симметрия кристаллов. Виды связей. Элементарная ячейка. Типы кристаллических структур. Общие геометрические свойства простых структур координационное число, атомный радиус, относительная плотность упаковки, количество атомов в элементарной ячейке. Кристаллографические обозначения определение структуры кристаллов. Метод Брэгга. Движение свободного электрона в потенциальной яме бесконечной протяженности. Движение электронов в идеальной кристаллической решетке. Обратная кристаллическая решетка. Уравнение Шрёдингера. Волновая функция Блоха. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны в твердых телах. Энергетический спектр электрона. Закон дисперсии. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков. Заполнение энергетических зон. Эффективная масса. Энергия Ферми. Статистика носителей тока в проводниках. Электроны и дырки. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Проводимость металлов. Проводимость в магнитном поле. Эффект Холла. Квантовые явления при низких температурах. Циклотронный резонанс. Эффект де Гааза – ван Альфена. Эффект Шубникова – де Гааза. Квантовые колебания кристаллической решетки. Фононы. Фононный спектр.

### **Тема 13. Статистическое распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.**

Квантовая статистика. Шестимерное фазовое  $\mu$  – пространство. Объем фазовой ячейки. Размещение частиц по ячейкам. Статистический вес. Функция распределения Ферми-Дирака. Фермионы. Химический потенциал. Идеальный ферми-газ. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Статистика Бозе-Эйнштейна. Бозоны. Размещение бозонов по состояниям. Функция распределения Бозе-Эйнштейна. Идеальный бозе-газ.

Фотонный газ. Фононный газ. Продольные и поперечные колебания в кристаллической решетке. Ветви поляризации фононов.

#### **Тема 14. Энергия Ферми.**

Заполнение энергетических зон. Электронный газ – газ свободных электронов. Связь энергии и импульса свободных электронов. Изоэнергетические поверхности. Поверхность Ферми. Эффективная масса электрона. Потолок энергетической зоны; зоны Бриллюэна. Электроны и дырки. Температурная зависимость уровня Ферми в собственном полупроводнике. Температурная зависимость энергии Ферми в примесных полупроводниках. Энергия Ферми и изоэнергетические поверхности в металлах и полупроводниках. Связь энергии Ферми с концентрацией свободных носителей. Плотность электронных состояний. Эффективная масса плотности электронных состояний. Вычисление энергии Ферми в электронных и дырочных полупроводниках.

#### **Тема 15. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.**

Сверхпроводимость. Явление, в котором квантово-механические эффекты обнаруживаются в макромасштабах. БКШ – теория ( Бардин, Купер, Шриффер). Теория Боголюбова. Отталкивание и взаимное притяжение электронов в сверхпроводящем состоянии. Куперовские пары. Размер пары. Сверхпроводимость – согласованное движение куперовских пар. Обмен электронов фононами. Куперовские пары – бозоны. Критическая температура. «нормальные» электроны. Энергия связи электронов в куперовской паре. Энергетический спектр электронов в сверхпроводящем состоянии. Энергетическая щель в области уровня Ферми. Зависимость энергетической щели от температуры. Магнитные свойства сверхпроводника. Магнитный поток тока сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона, 1962 г., открытие эффекта Джозефсона в 1963 г. Суть эффекта – протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющего два сверхпроводника. Туннельный эффект. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. При стационарном эффекте ток через контакт Джозефсона не превышает критический и падение напряжения равно нулю. Нестационарный эффект Джозефсона – ток через контакт превышает критическое значение. Излучение электромагнитных волн куперовской парой при прохождении контакта.

Сверхтекучесть. Гелий единственное вещество, которое остается жидким вплоть до абсолютного нуля температуры, атомы гелия – бозоны. Температура кипения при атмосферном давлении 4,2 К. Гелий I и Гелий II. Температура фазового перехода II – рода – 2,17 К, гелий I переходит в состояние гелий II. Сверхтекучесть фазы гелий II открыта в 1938 г. П.Л. Капицей. Сверхтекучесть – полное отсутствие вязкости. Сифонные свойства сверхтекучей пленки. Течение гелия II по капиллярам. Модель «смеси» двух жидкостей. Нормальное и сверхтекучее движение. Эффективная масса движения, затухания колебательного движения в нормальной компоненте гелия. Высокая теплопроводность гелия. Теория сверхтекучести Ландау 1941г. Температура вырождения. Конденсация Бозе-Эйнштейна в пространстве импульсов. Фононы и ротоны в жидком гелии. Спектр возбуждения. Сверхтекучесть – явление, в котором проявляется квантование в макроскопических масштабах.

#### **1.2. Темы практических занятий**

Для организации и проведения практических занятий по дисциплине «Физика атомов и атомных явлений» используются следующие учебные пособия, в которых содержатся тексты типовых задач по дисциплине (предназначенные для студентов физических специальностей университетов):

1) Иродов И.Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие: рек. НМС Мин. обр. РФ/ И. Е. Иродов. -10-е изд., стер.. -СПб.: Лань, 2006, 2007. -416 с..

2) Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике : учеб. пособие: рек. НМС/ И.В. Савельев. – 3-е изд., стер.. – СПб.: Лань, 2005. - 288 с

В таблице приведены номера задач по сборнику 1), рекомендуемые для решения на практических занятиях и задания в качестве РГР.

№	Тема	Задачи для аудиторных занятий	Домашнее задание	Число часов
1.	Частицы и волны	6.2 6.4 6.6 6.12 6.10 6.16	6.3 6.5 6.7 6.9 6.11 6.13 6.17	2
2.	Основные экспериментальные данные о строении атома.	6.21 6.24 6.25 6.27 6.37	6.22 6.25 6.28 6.30 6.35 6.39 6.45	2
3.	Основы квантово-механических представлений о строении атома.	6.49 6.53 6.57 6.58 6.67 6.71	6.50 6.54 6.59 6.68 6.70 6.69 6.73	2
4.	Одноэлектронный атом.	6.72 6.77 6.80 6.82 6.85 6.90	6.73 6.78 6.80 6.83 6.87 6.89 6.94	2
5	Контрольная работа №1			2
6.	Многоэлектронные атомы.	6.97 6.99 6.104 6.107 6.124 6.110	6.100 6.105 6.116 6.120 6.123 6.122 6.133 6.134	2
7.	Молекулы.	6.167 6.169 6.171 6.173 6.175 6.179	6.168 6.170 6.172 6.174 6.176 6.178	2
8.	Макроскопические квантовые явления	6.186 6.188 6.190 6.191 6.199 6.204	6.189 6.192 6.194 6.201 6.209 6.211 6.212 6.213	2
9.	Контрольная работа №2			2
10	Итого за семестр			18

### **1.3. Технические средства обучения, наглядные пособия**

В учебном процессе используются лекционные демонстрации основных физических явлений, видеодемонстрации, видеофильмы и другие специальные и вспомогательные средства обучения.

- Интерактивная доска, мультимедийное оборудование в аудитории.
- Видеопроектор Epson.
- Цветной телевизор ABEST, 2003 г.
- Ноутбук Пентиум 100, 2003 г.
- Комплекты оборудования для проведения лекционных демонстраций по темам дисциплины.

## **III. КОНТРОЛИРУЮЩИЙ РАЗДЕЛ**

### **3.1. Вопросы для самоконтроля**

Вопросы для самоконтроля и самопроверки используются студентами для подготовки к практическим занятиям и лабораторным работам, а также самопроверки готовности к экзаменам. Кроме того, такие вопросы могут быть использованы преподавателем для составления тестов с целью проверки текущей успеваемости студентов (например, во время практических занятий) или использоваться в качестве заданий и дополнительных вопросов на экзамене. Перечень вопросов для самопроверки и самоконтроля дан в «Рабочей программе», разделе 8 «Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов» (п.8.1).

### 3.2. Задания для контрольных работ

#### Контрольная работа № 1

##### Вариант №1

1. Работа выхода у лития равна 2.46 эВ. Найти красную границу фотоэффекта.
2. Для водородоподобного мезоатома (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить энергию связи в основном состоянии, если ядром является а) протон, б) дейтрон.

##### Вариант №2

1. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 639 нм. Найти работу выхода.
2. Положение бусинки массой 1 г и положение электрона определены с одинаковой погрешностью  $10^{-7}$  м. Оценить неопределенность скорости бусинки и электрона.

##### Вариант №3

1. Какой скоростью должен обладать электрон, чтобы иметь такой же импульс, как и фотон, соответствующий излучению с длиной волны 0.1 нм.
2. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка 10-10м (атом) и 10-15 м (атомное ядро).

##### Вариант №4

1. Работа выхода серебра равна 4.28 эВ. Определить, до какого потенциала зарядится серебряный шар, изолированный от других тел, если его облучать светом с длиной волны  $10^{-7}$  м.
2. Частица массой  $m$  находится в состоянии с минимальной энергией в прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$ . Оценить минимальную энергию частицы.

##### Вариант №5

1. Изобразить зависимость фототока насыщения от напряженности электрического поля в падающей световой волне.
2. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии  $10^{-8}$  с. При переходе в основное состояние атом излучает фотон, соответствующий длине волны излучения 0.5 мкм. Оценить (естественную) ширину линии излучения.

##### Вариант №6

1. Точечный источник света мощности  $P$  испускает световые волны с длиной волны  $\lambda$ . Определить: а) среднюю плотность потока фотонов на расстоянии  $r$  от источника; б) концентрацию фотонов на этом расстоянии.
2. Для электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм найти энергию первых двух стационарных состояний и энергию фотона, излучаемого при переходе электрона с первого возбужденного состояния в основное.

##### Вариант №7

1. Какую энергию приобретает электрон отдачи в эффекте Комптона при рассеянии фотона, отвечающего длине волны 0.1 нм, на угол  $90^\circ$ ?
2. Для частицы массой  $m$  в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$  вывести выражение для вероятности, с которой она может быть обнаружена в области  $0-L/3$  в состоянии  $n$ .

##### Вариант №8

1. Рассеяние на электронах электромагнитного излучения с длиной волны 0.24 нм наблюдается под углом  $60^\circ$ . Найти длину волны рассеянного излучения и угол отлета электронов отдачи.
2. Для частицы массой  $m$  найти спектр собственных значений энергии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.



#### Вариант №9

1. Показать, что процесс, при котором покоящийся свободный электрон поглощает налетающий на него фотон, не возможен.
2. Квант с энергией 20 эВ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон?

#### Вариант №10

1. Возможен ли процесс, при котором кинетическая энергия электрона отдачи равнялась бы энергии налетающего фотона?
2. Вычислить скорость, которую приобретает атом водорода в результате излучения кванта света при переходе электрона со второго уровня на первый. Какая при этом будет поправка к длине волны излучения?

#### Вариант №11

1. Какую энергию должны иметь фотоны, чтобы при комптоновском рассеянии на свободных покоящихся электронах на угол  $90^\circ$  длина волны отвечающего им излучения испытывала удвоение?
2. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать границу серии Бальмера, энергию ионизации, длину волны резонансной линии излучения.

#### Вариант №12

1. Чему равна длина волны Де-Бройля для электрона, релятивистская масса которого равна  $5.25 \cdot 10^{-30}$  кг?
2. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать среднее и наиболее вероятное расстояние между частицами в основном состоянии.

#### Вариант №13

1. Какова длина волны Де-Бройля протона и электрона, энергия которых равна средней кинетической энергии теплового движения молекул при комнатной температуре?
2. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $2p$ .

#### Вариант №14

1. Определить длину волны Де-Бройля электрона, кинетическая энергия которого равна  $1.6 \cdot 10^{-17}$  Дж.
2. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $3d$ .

#### Вариант №15

1. Найти энергию и импульс фотона, отвечающего длине волны излучения 0.1 нм, а также кинетическую энергию и импульс электрона, длина волны Де-Бройля которого имеет тоже значение.
2. Для мезоатома водорода (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить среднее и наиболее вероятное расстояние между мезоном и ядром в основном состоянии.

#### Вариант №16

1. Какую энергию имеет квант излучения с длиной волны, равной комптоновской длине волны электрона?
2. Сравнить длины волн Де-Бройля для электрона и протона, имеющих одинаковую скорость.

#### Вариант №17

1. Чему равна длина волны Де-Бройля и волновое число  $k$  для электрона с кинетической энергией 240 эВ?
2. Чему равны энергии ионизации ионов  $He^+$  и  $Li^{++}$  ?

## Контрольная работа № 2

### Вариант №1

1. Выразить проекцию спинового момента импульса электрона на плоскость  $xu$  через квантовые числа  $s$  и  $m_s$ .
2. Какие из переходов запрещены правилами отбора для электро-дипольного излучения:  ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ ,  ${}^2D_{3/2} - {}^2S_{1/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{3/2}$ ,  ${}^2F_{7/2} - {}^2D_{5/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{1/2}$  ?
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^1P_1 - {}^1S_0$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=5$ .

### Вариант №2

1. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состоянии  $p$ .
2. Длина волны дублета желтой линии натрия ( $3^2P - 3^2S$ ) равны 589.6 нм и 589.0 нм. Определить тонкое расщепление терма  $3^2P$  (расстояние между компонентами тонкой структуры терма) и величину постоянной расщепления  $A$ .
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^3D_2 - {}^3P_1$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=6$ .

### Вариант №3

1. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состоянии  $d$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу в)  ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=7$ .

### Вариант №4

1. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состоянии  $f$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома лития в слабом магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=8$ .

#### Вариант №5

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух p-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома лития в сильном магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=9$ .

#### Вариант №6

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух d-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома натрия в слабом магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=10$ .

#### Вариант №7

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Лаймана атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома натрия в сильном магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=11$ .

#### Вариант 8

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех p-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Бальмера атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Найти величину расщепления (в электрон-вольтах) следующих компонентов термов:  $^1D_2$ ,  $^3F_4$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=12$ .

#### Вариант №9

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех d-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Найти величину расщепления (в электрон-вольтах) следующих термов:  ${}^1D$ ,  ${}^3F$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=13$ .

#### Вариант №10

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
3. Какой эффект Зеемана (простой, сложный) проявляют в слабом магнитном поле спектральные линии, обусловленные следующими переходами: а)  ${}^1P_1 \rightarrow {}^1S_0$ ; б)  ${}^2D_{5/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ ; в)  ${}^3D_1 \rightarrow {}^3P_0$ ; г)  ${}^5I_5 \rightarrow {}^5H_4$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=14$ .

#### Вариант №11

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один s-электрон, один p-электрон, один d-электрон.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^1P_1 - {}^1S_0$ . Указать поляризацию спектральных линий.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=6$ .

#### Вариант №12

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один s-электрон, два d-электрона.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней

энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^3D_2 - {}^3P_1$ . Указать поляризацию спектральных линий.

4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=7$ .

#### Вариант №13

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один p-электрон, два d-электрона.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для главной серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ . Указать поляризацию спектральных линий.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=8$ .

#### Вариант №14

1. Некоторый атом находится в состоянии, для которого большое спиновое квантовое число  $S = 2$ , полный механический момент  $M = \sqrt{2}h$ , а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для главной серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^3D - {}^3P$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=9$ .

#### Вариант №15

1. Найти полный механический момент атома в состоянии с квантовыми числами  $S = 3/2$  и  $L = 2$ , если известно, что магнитный момент его равен нулю.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Пашена атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^1P - {}^1S$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической

диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=11$ .

#### Вариант №16

1. Определить максимально возможный орбитальный механический момент электронной оболочки атома в состоянии, мультиплетность которого равна пяти и кратность вырождения по  $J$  – семи. Написать спектральное обозначение соответствующего терма.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Пашена атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^2D - {}^2P$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=12$ .

#### Вариант №17

1. Вычислить фактор Ландэ для следующих термов: а)  ${}^6F_{1/2}$ , б)  ${}^4D_{1/2}$ , г)  ${}^5F_2$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома калия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  ${}^2D_{3/2}$ , б)  ${}^2P_{1/2}$ . Магнитное поле считать слабым.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=13$ .

#### Вариант №18

1. Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент  $\hbar\sqrt{20}$ . Каким может быть соответствующее квантовое число  $L$ ?
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома рубидия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  ${}^2D_{3/2}$ , б)  ${}^2P_{1/2}$ . Магнитное поле считать сильным.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=14$ .

#### Вариант №20

1. Вычислить в магнетонах Бора магнитный момент электронной оболочки атома в состоянии  ${}^2D_{3/2}$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома цезия, привести спектроскопическую индексацию термов.

3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  $^3D_2$ , б)  $^3P_1$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного поля.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=15$ .

### **3.3. Вопросы для подготовки к экзамену**

1. Специфика законов микромира.
2. Фотоэффект и уравнение Эйнштейна.
3. Эффект Комптона. Электроны отдачи.
4. Энергия и импульс фотона. Давление света.
5. Законы теплового излучения. Единство волновых и корпускулярных свойств света.
6. Волновой пакет и частица. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де-Бройля.
7. Свойство волн де-Бройля. Экспериментальное подтверждение волн де Бройля.
8. Статистическое истолкование волн де-Бройля.
9. Соотношения неопределенностей. Принцип причинности. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Движение свободной частицы.
9. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме.
10. Линейный гармонический осциллятор.
11. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Туннельный эффект.
12. Опыты Резерфорда. Опыты Чадвика. Спектральные серии атома водорода. Формула Бальмера-Ридберга.
13. Атомные модели и квантовые постулаты Бора. Спектральные термы. Комбинационный принцип. Диаграмма уровней энергии.
14. Опыты Франка и Герца.
15. Теория Бора. Квантование водородоподобного атома.
16. Атом водорода в квантовой механике. Энергия, квантовые числа, спектр. Спин электрона. Принцип Паули. Распределение электронов по состояниям.
17. Основные положения теории многоэлектронных атомов. Атом гелия. Энергетический спектр атома гелия.
18. Оптические спектры щелочных металлов. Энергетические уровни. Основные серии. Общие сведения о строении сложных атомов.
19. Электромагнитные переходы в атомах. Излучение возбужденных атомов. Спонтанное излучение.
20. Поглощение и вынужденное излучение. Свойство индуцированного излучения. Квантовые генераторы. (лазеры)
21. Рентгеновские спектры атомов. Тормозное излучение. Характеристическое излучение. Закон Мозли.
22. Заполнение электронных оболочек. Периодический закон Менделеева.
23. Орбитальный магнитный момент и теорема Лармора. Эффект Зеемана.
24. Эффект Штарка.
25. Излучение Черенкова-Вавилова.
26. Основные виды химической связи. Гетерополярные и гомеополярные молекулы.
27. Теория валентности.
28. Силы Ван-дер-Ваальса.
29. Молекулярные спектры. Электронные спектры двухатомных молекул. Колебательная и вращательная структура термов.
30. Уравнение Шредингера и волновая функция электрона, электрона, движущегося в периодическом поле.

31. Энергетический спектр электрона. Образование энергетических зон. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков.
32. Проводимость металлов.
33. Собственная и примесная проводимость полупроводников.
34. Эффект Холла.
35. Квантовая статистика. Фазовое пространство. Функция распределения. Идеальный бозе-газ. Статистика Бозе-Эйнштейна.
36. Ферми-газ. Статистика Ферми-Дирака. Вырожденный и невырожденный электронный газ.
37. Заполнение уровней энергии в зоне. Энергия Ферми. Изоэнергетические поверхности. Уровень Ферми в металлах и полупроводниках.
38. Закон дисперсии. Эффективная масса электрона.
39. Непредельный бозе-газ. Сверхтекучесть. Квантовая природа сверхтекучести.
40. Газ ферми-частиц. Сверхпроводимость. Квантовая природа. Эффект Джозефсона. Эффект Майснера.

#### **3.4. Экзаменационные билеты**

"Утверждаю"  
Заведующий кафедрой

Факультет: ИФФ  
Кафедра физики  
спец. 010700 (физика)  
Дисциплина: Физика атомов  
и атомных явлений

##### БИЛЕТ № 1

1. Неидеальный бозе-газ. Сверхтекучесть. Квантовая природа сверхтекучести.
2. Единство волновых и корпускулярных свойств света. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Эффект Комптона.
3. Задача.

##### БИЛЕТ № 2

1. Заполнение уровней энергии в зоне. Энергия Ферми. Уровень Ферми в металлах и полупроводниках.
2. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Опыты Джермера-Девиссона и Томпсона по дифракции электронов.
3. Задача.

##### БИЛЕТ № 3

1. Квантовая статистика. Функция распределения. Идеальный бозе-газ. Статистика Бозе-Эйнштейна.
2. Соотношение неопределенностей и принцип причинности.
3. Задача.

##### БИЛЕТ № 4

1. Проводимость металлов.
2. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме.
3. Задача.

##### БИЛЕТ № 5

1. Уравнение Шредингера и волновая функция электрона движущегося в периодическом поле.
2. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Туннельный эффект.
3. Задача.



БИЛЕТ № 6

1. Поглощение, спонтанное и индуцированное излучение. Квантовые генераторы. Свойство лазерного излучения.
2. Квантовые постулаты Бора. Спектральные термы. Комбинационный принцип. Диаграмма уровней энергии. Опыты Франка и Герца.
3. Задача.

БИЛЕТ № 7

1. Эффект Штарка и Зеемана.
2. Атом водорода в квантовой механике. Энергия, квантовые числа, спектр.
3. Задача.

БИЛЕТ № 8

1. Рентгеновские спектры атомов. Тормозное излучение. Характеристическое излучение. Закон Мозли.
2. Системы тождественных частиц. Базоны и фермионы. Принцип Паули. Распределение электронов по состояниям.
3. Задача.

БИЛЕТ № 9

1. Многоэлектронный атом. Заполнение электронных оболочек. Правило Хунда.
2. Периодический закон Д.И. Менделеева.
3. Задача.

БИЛЕТ № 10

1. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.
2. Орбитальный магнитный момент и теорема Лармора. Пространственное квантование.
3. Задача.

БИЛЕТ № 11

1. Теория Бора. Квантование водородаподобного атома. Принцип соответствия. Кризис теории Бора.
2. Комбинационное рассеяние света. Стоксовы и антистоксовы спутники.
3. Задача.

БИЛЕТ № 12

1. Модель атома Томсона. Опыты Резерфорда и модель атома Резерфорда. Спектральные серии атома водорода, формула Бальмера-Ридберга.
2. Излучение Черенкова-Вавилова.
3. Задача.

БИЛЕТ № 13

1. Линейный гармонический осциллятор.
2. Молекулярные спектры. Энергия молекулы.
3. Задача.

БИЛЕТ № 14

1. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Движение свободной частицы.
2. Энергетический спектр электрона. Образование энергетических зон. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 15

1. Волновой пакет и частица.
2. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Фотопроводимость.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 16

1. Единство волновых и корпускулярных свойств излучения. Давление света. Законы теплового излучения. Формула Планка.
2. Ферми-газ. Статистика Ферми-Дирака. Вырожденный и невырожденный электронный газ.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 17

1. Специфика законов микромира.
2. Закон дисперсии. Эффективная масса электрона.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 18

1. Основные виды химической связи. Силы Ван-дер-Ваальса.
2. Газ ферми – частиц. Сверхпроводимость. Квантовая природа. Эффект Джозефсона.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 19

1. Разрешающая способность дифракционной решетки.
2. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де-Бройля.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 20

1. Дифракция на пространственной решетки. Формула Вульфа-Бреггов.
2. Волновая функция и ее статистический смысл.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 21

1. Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетки.
2. Движение свободной частицы. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 22

1. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске.
2. Строение многоэлектронных атомов. Принцип Паули. Спин электрона. Спиновое квантовое число.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 23

1. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Рентгеновский спектр. Тормозное и характеристическое излучение. Закон Мозли.
3. Задача.

#### БИЛЕТ № 24

1. Полосы равного наклона. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.

2. Зонная теория проводимости твердых тел. Металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики.
3. Задача.

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«5»	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов.
«4»	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями.
«3»	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного –материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя.	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов.
«2»	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы.
«1»	Полное незнание и непонимание учебного материала (студент не может ответить ни на один поставленный вопрос).	_____

**Экзамен** – итоговая аттестация по дисциплине. Оценка складывается из текущей работы студента в семестре, промежуточного контроля, самостоятельной работы и ответа на экзамене (40% - промежуточный контроль знаний студентов, 60% - результаты итогового экзамена).

Кафедра имеет право перераспределить это соотношение до 10%.

**Промежуточный контроль** – осуществляется два раза в семестр в виде контрольных точек. Преподаватель проверяет знания студентов в виде контрольных работ, тестов и др. по блоку изученной дисциплины. Фиксируется в журналах успеваемости, находящихся в деканатах. Результаты учитываются при допуске к сдаче экзамена.