

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ТиЭФ  
\_\_\_\_\_ Е.А. Ванина  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ  
для специальности 010701 – «физика»

Составитель: канд. физ.-мат. наук, Польшин В.И.

Благовещенск  
2007 г.

Печатается по решению редакционно-издательского совета инженерно-физического факультета Амурского государственного университета.

В.И. Польшин

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Физика атомов и атомных явлений» для студентов очной формы обучения специальности 010701 «Физика». – Благовещенск. Амурский государственный университет, 2007. –5 с.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения по специальности 010701 «Физика» для формирования основ физических знаний при изучении курса общей физики и конкретно для изучения физики атомов и атомных явлений как основа квантовой механики.

Амурский государственный университет, 2007.

## СОДЕРЖАНИЕ:

1. Рабочая программа.....	4
2. Краткий конспект лекций.....	27
3. Практические занятия, физический практикум.....	35
4. Самостоятельная работа студентов.....	36
5. Экзаменационные вопросы.....	37
6. Экзаменационные билеты.....	39
7. Вопросы ГАК.....	47
8. Контроль остаточных знаний.....	48
9. Критерий оценки знаний студентов.....	50

Федеральное агентство по образования Российской Федерации  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ГОУ ВПО «АмГУ»)

“УТВЕРЖДАЮ”  
Проректор по Учебно-научной работе  
\_\_\_\_\_ Астапова Е.С..  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине “Физика атомов и атомных явлений” -  
для специальности 01.07.01 “Физика”  
курс 3 семестр 5  
Лекции 54 час. Экзамен 5 семестр.  
Практические (семинарские) занятия 18 час.  
Самостоятельная работа 72 час.  
Всего часов 144

Физический практикум:  
Лабораторные занятия 36 час.  
Самостоятельная работа 29 час..  
Итого по физическому практикуму 65 часов ?

**Всего часов аудиторной нагрузки 108 час**  
**Всего часов самостоятельной нагрузки 101 час.**  
**Всего часов 209**

Составитель Польшин В.И., доцент, канд. ф.-м.наук  
Факультет Инженерно-физический  
Кафедра Теоретической и экспериментальной физики

2006г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и авторских разработок по направлению специальности) 010701

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 200\_\_\_ протокол № \_\_\_

И.о.. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Е.А.Ванина)

Рабочая программа одобрена на заседании УМСС 01.07.01

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 200\_\_\_ протокол № \_\_\_

Председатель УМС \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМУ  
\_\_\_\_\_ Г.Н.Торопчина

СОГЛАСОВАНО  
Председатель УМС факультета  
\_\_\_\_\_

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий выпускающей кафедры  
\_\_\_\_\_ (Е.А.Ванина)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 200\_\_\_ г.

## СТАНДАРТ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Микромир. Волны и кванты Частицы и волны. Основные экспериментальные данные о строении атома. Основные квантово-механические представления 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.

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ 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.

В результате изучения дисциплины “Общая физика” студент должен 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.

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.

## **Лекционный курс (54 час.)**

### **1. Микромир.**

Специфика законов микромира.(2 час.)

### **2. Волны и кванты. (4 час.)**

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

### **3. Частицы и волны. (6 час.)**

Корпускулярно-волновой дуализм: преломление света, эффект Доплера, дифракционная решетка. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальное подтверждение гипотезы де-Бройля: метод Брегга, опыты Девессона и Джермера, Дебая-Шерреа, опыты Тартаковского и Томсона. Интерференционные явления с молекулярными пучками и нейтронами. Волновой пакет и частица. Статистическое истолкование волн де-Бройля. Соотношение неопределенностей. Соотно-

шение 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. (2 час.)**

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

**5. Основы квантово-механических представлений о строении атома. (4 час.)**

Атомные модели и квантовые постулаты Бора. Обобщенная 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. (6 час.)**

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

**7. Многоэлектронные атомы. (6 час.)**

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. (2 час.)**

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

**9. Рентгеновские спектры (2 час.)**

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. (2 час)**

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

**11. Молекула. (4 час.)**

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 двухатомных молекул. Колебательная и вращательная структура термов. Комбинационное рассеяние света.



## 12. **Макроскопические квантовые явления** (6 час.)

Симметрия кристаллических решеток и зоны 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, фононы. Типы твердых тел.

## 13. **Статистическое распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна** (4 час.)

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.** (2 час.)

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

## 15. **Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.** (2 час.)

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

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (18 часов)

1. Атом Резерфорда. Равновесное электромагнитное излучение. 2 час.
2. Серийные закономерности. Теория атома по Бору. 2 час.
3. Гипотеза де-Бройля. Длина волны де-Бройля. 2 час.
4. Соотношение неопределенностей 2 час.
5. Контрольная работа. 2 час.
6. Уравнение Шредингера. Спектр энергий. Волновые функции. 2 час.
7. Квантовая теория атома водорода Движение частицы в центрально-симметричном поле Туннельный эффект. 2 час.
8. Многоэлектронные атомы. Оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Приближения LS и jj-связей. Терм. Состояние. 2 час.
9. Эффект Зеемана. 2 час.

## ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ (36 час.)

1. Квантовые числа. Энергетические состояния атомов и молекул 4 час.
2. Определение энергии активации полупроводника 4 час.
3. Изучение спектра атома водорода и определение постоянной Ридберга 4 час
4. Определение потенциала возбуждения атомов инертных газов 4 час.

- |   |        |
|---|--------|
| 5. Изучение спектра натрия.   | 4 час. |
| 6. Получение и анализ электронных спектров органических красителей. | 4 час. |
| 7. Изучение эффектов Зеемана.                                       | 4 час. |
| 8. Изучение спектра поглощения молекул иода.                        | 4 час. |
| 9. Коллоквиум.  | 4 час. |

### САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (101 час)

#### САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА (72 ЧАСА)

- Самостоятельная работа при изучении некоторых вопросов программы – 10 час.
- проработка конспектов лекций – 10 час.
- изучение лекционного материала по рекомендованной литературе – 10 час.
- изучение дополнительной литературы – 7 час.
- выполнение расчетно-графических работ – 10 час.
- выполнение домашних заданий по решению задач – 12 час.
- подготовка к семинарским занятиям – 4 час.
- подготовка к коллоквиумам – 4 час.
- подготовка к контрольным работам – 3 час.
- подготовка к участию в олимпиадах и конференциях – 2 час.

#### САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА (26 ЧАСОВ)

- изучение методических рекомендаций к выполнению лабораторных работ и составление конспектов по теории и методике эксперимента (10 час.)
- оформление отчетов по выполненным лабораторным работам. Физического практикума – 10 час.
- изучение литературы к защите выполненных работ – 9 час.

**Контроль самостоятельной работы** со стороны преподавателя включает следующее:

- анализ итогов контрольной работы, проводимой на занятии с разбором каждой работы;
- проверка домашних заданий;
- анализ результатов коллоквиума по теоретическому курсу дисциплины;

- проверка подготовки студента к выполнению лабораторной работы (знание теоретического материала и владение методикой эксперимента данной лабораторной работы);
- контроль остаточных знаний;
- подготовка расчетно-графических работ.

Контрольная работа и задачи на экзамен формируются из банка задач, представленных в технологической карте по проведению практических занятий.

Все виды контроля занятий отражены в учебных картах по теоретическому курсу, планах практических занятий и вопросам для самоконтроля при изучении дисциплины «Физика атомов и атомных явлений».

## ВОПРОСЫ 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. Свойство волн де-Бройля. Экспериментальное подтверждение волн де Бройля. Статистическое истолкование волн де-Бройля.
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. 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.

## КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«Отлично»	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.
«Хорошо».	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.
«удовл»	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.
«неуд.»	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.

**Зачет** – итоговая аттестация по дисциплине. Оценка (зачет) по этим видам контроля складывается из текущей работы студента в семестре, промежуточного контроля, самостоятельной работы и ответа на экзамене (зачете) (40%

- промежуточный контроль знаний студентов, 60% - результаты итогового зачета (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 зачета или экзамена.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Фриш С.Э. Курс общей физики [Текст]: в 3т:учеб. – (Классическая учебная литература по физике) (Лучшие классические учебники). Т. 3: Оптика. Атомная физика. –2006. –649с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики. [Текст]: В 5 кн.: учеб. пос. Кн.5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 2004. –2003. –368 с.

3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики [Текст]: Учеб. Пособие/ Д. Блохинцев. СПб.: Лань, 2004. –665 с.

4. Сивухин Д.В. Общий курс физики [Текст]: [В 5 т.]: Учебное пособие. Рек.мин.обр.РФ. Т.5: Атомная и ядерная физика. –2002. –783 с.

### Дополнительная литература

1. Гейзенберг В. У истоков квантовой теории. Сб./В. Гейзенберг: сост.А.Л.Самсонов. –М.: Тайдекс Ко, 2004. – 397 с.

2. Лабораторный практикум по физике для студентов технических специальностей/ Ред. А.А. Согр. ИФФ. Ч.3: Оптика, квантовая и атомная физика. Вып.1. –1999. –80 с.

3. Физический практикум. Ч.5: Атомная физика. Вып.1/АмГУ. Инженер.-физич.фак. Благовещенск: Изд-во Амур.гос.ун-та. 2002. –80 с.

4. Иродов И.Е. Атомная физика : Сб. задач: уч. пос.: рек. Мин.обр. РФ / И.Е. Иродов. –СПб.: Лань, 2002. – 288 с.

5. Ципенюк Ю.М. Физические основы сверхпроводимости.: Учеб. Пособие по курсу общей физики МФТИ / Ю. Ципенюк. –М.: Изд-во Моск.физико-техн. Ин-та, 2003.-160 с.

6. Ландау Л.Д. Теоретическая физика в 10т. Учеб. пособие: Рек. Мин. обр.РФ. Т.3: Квантовая механика: нерелятивистская теория / под ред. Л.П.Питаевского. –2004. –800 с.

7. Хрусталева А.В. Принципы современной механики и волновые свойства частиц. Уч. пос./А.В. Хрусталева. -: МАТИ, 2001. –168с.

8. Милантьев В.П. Атомная физика.. Уч. пос. Рек.Мин. обр.РФ. Изд-во Рос.ун-та дружбы народов, 1999. – 374 с.
9. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей фишике. Уч. пос.: рек.НМС. –СПб.: Лань, 2005. –288с.
10. Зелевинский В.Г. Лекции по 5вантовой механике. Уч. пос. Новосибирск, Сиб. унив. изд-во, 2002. –499с.
11. Гольдин Л.Л. Квантовая физика. Вводный курс. Уч.пос. –М.: Ин-тут компьютерных исследований. 2002. – 490 с.
12. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы. Уч.пособие. –М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. –272 с.
13. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. Уч.пособие для вузов. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. –200 с.
14. Шмитд В.В. Введение в физику сверхпроводников. –М.: МЦНМО, 2000. –392 с.
9. Гершензон Е.М. Оптика и атомная физика. Уч.пос. Рек.мин.обр.РФ.: -М.: Академия, 2000. –408 с.
- 10.Оршич А.М. Физика атомов и молекул. Уч.пос. Новосибирск., 1997. –116с.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА**  
**Учебно – методическая (технологическая) карта дисциплины**

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			Практич. (семина.)	Лаборат.		Содержание	Часы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	<u>Лекция 1. Тема: Микромир.</u> Протяженность области микромира. Объекты – структурные единицы деления материи: молекулы и атомы, ядра атомов, элементарные частицы. Размеры объекта. Массы объекта. Область физических явлений. Типы взаимодействий. Квантовые представления физических явлений. Релятивистские идеи.				Изучение дополнительной литературы Изучение лекционного материала	1  1	Экзамен
1	2	<u>Лекция 2. Тема: Волны и кванты.</u> Фотоэффект и уравнение Эйнштейна. Исследование А.Г. Столетова. Закон сохранения энергии для фотоэффекта. Опыт Боте. Давление света. опыты Лебедева. опыты Иоффе и Добронравова. Флуктуации светового потока.			Видеофильм «Фотоэффект»	Проработка конспектов лекций  Флуктуации светового потока	1  2	Экзамен
2		<u>Лекция 3. Эффект Комптона.</u> Рассеяние рентгеновских лучей различными веществами. Закон сохранения энергии и импульса для неупругого столкновения рентгеновского фотона и свободного электрона. Электроны отдачи. Комptonовская длина волны. Тепловое излучение, формула Планка. Длинноволновое излучение проявляет более волновые свойства, а коротковолновые – корпускулярные.			Шкала электромагнитных волн	РГР Расчеты построения диаграммы закона сохранения энергии импульса для рассеяния рентгеновских фотонов на свободном электроне	3	
3	3	<u>Лекция 4. Тема: Частицы и волны</u> Корпускулярно – волновой дуализм: преломление света, эффект Доплера, дифракционная решетка. Гипотеза де Бройля. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля. опыты Девиссона и Джермера, Дебая-Шеррера, Тартаковского и Томсона. Интерференционные явления с молекулярными	1 Гипотеза де Бройля. Длина волны де Бройля.			РГР Расчет длины волны де Бройля для электрона ускоренного электрическим полем в релятивистском и нерелятивист-	3	Экзамен



		<p>пучками и нейтронами.</p> <p><u>Лекция 5. Статистическое истолкование волн де Бройля.</u> Понятие траектории для микрочастиц и прямолинейное распространение света, пределы применимости.</p> <p>Принцип неопределенности Гезейнберга. Принцип причинности. Волновая функция - <math>\psi</math> как характеристика состояния микрочастиц. Смысл <math>\psi</math> – функции.</p> <p>Уравнение Шредингера общее и для стационарных состояний. Оптико-механической аналогия. Оператор Лапласа. Оператор энергии – Гамильтониан. Собственные значения и собственные функции. Движение свободной частицы. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии. Гармонический осциллятор. Уравнение Шредингера для осциллятора. Решения уравнения. Квантование энергии осциллятора. Эквидистантность уровней. Нулевая энергия. Квантовые числа. Правила отбора для квантовых чисел.</p>	2 Соотношение неопределенностей Гейзенберга.			<p>ском случае.</p> <p>Выполнение домашних заданий по решению задач</p> <p>Когерентность пространственная и временная</p> <p>Проработка конспектов лекций</p> <p>Изучение лекционного материала</p>	1,5  2  1  8	Экзамен
4		<p><u>Лекция 6. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер.</u> Вид барьера. Классическое и квантово-механическое поведение частицы. Уравнение Шредингера. <math>\psi</math> -функция для 1,2,3 областей. Равенство <math>\psi</math> пси-функции и ее производной на границах барьера. Вывод коэффициента отражения R. Коэффициент прохождения D. Зависимость его от ширины барьера и от массы частицы. Туннельный эффект.</p>	3. Уравнение Шредингера. Спектр энергий. Волновые функции.			<p>Изучение дополнительной литературы</p> <p>Изучение лекционного материала</p>	1  1	Экзамен
5		<p><u>Лекция 7. Тема: Основные экспериментальные данные о строении атома.</u></p> <p>Опыты Резерфорда. Рассеяние на положительно заряженном центре большой массы и очень малого объема. Опыт Чадвика. Определение заряда ядра с большой точностью. Формула Бальмера. Серии Лаймана, Пашена, Бреккета и Пфунда. Обобщенная формула Бальмера.</p>				<p>Подготовка к выполнению физического практикума</p> <p>Проработка конспекта лекций</p>	3  1	Экзамен
5	5	<u>Лекция 8. Тема: Основы квантово-механических</u>	4.Атом Ре-	1 Опреде-	Установка	Выполнение до-	1,5	Экзамен, защита лабо-

6	5	<p><u>представлений о строении атомов.</u> Атомные модели: модель Томсона, ядерная модель Резерфорда. Недостатки моделей. Квантовые постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Модель атома Бора. Обобщенная формула Бальмера и постоянная Ридберга. Граница серий. Спектральные термы. Комбинационный принцип. Правила квантования площадей. Обобщенная координата и обобщенный импульс. Условия Бора для квантования момента импульса. <u>Лекция 9. Элементарная боровская теория водородного атома.</u> Квантование импульса электрона. Главное квантовое число <math>n</math>. Радиус первой боровской орбиты. Дозволенные значения внутренней энергии атома. Переход атома водорода из состояния <math>n</math> в состояние <math>m</math> с излучением фотона с энергией <math>h\nu</math>. Обобщенная формула Бальмера, постоянная Ридберга. Схема энергетических уровней. Теория Бора – крупный шаг в развитии теории атома. Недостатки теории Бора. Теория Бора как переходной этап к квантовой теории.</p>	<p>зертфорда</p> <p>5. Теория атома по Бору. Серийные закономерности.</p> <p>6. Контрольная работа</p>	<p>ление потенциала возбуждения инертных газов.</p>	<p>Франка-Герца</p>	<p>машинных заданий по решению задач</p> <p>Изучение лекционного материала</p> <p>Подготовка к контрольной работе</p> <p>Изучение лекционного материала</p> <p>Подготовка к выполнению физического практикума</p> <p>Выполнение домашних заданий по решению задач</p>	<p>2</p> <p>3</p> <p>1</p> <p>3</p> <p>1,5</p>	<p>ракторных работ</p> <p>Экзамен</p>
		<p><u>Лекция 10. Тема 6: Одноэлектронный атом.</u> Атом водорода в квантовой механике. Потенциальная энергия электрона. Уравнение Шредингера. Сферическая система координат. Дискретные отрицательные значения энергии электрона. Собственные функции, содержащие квантовые числа: <math>n</math>, <math>\ell</math>, <math>m</math> (<math>n</math>-главное квантовое число, <math>\ell</math>-азимутальное квантовое число, <math>m</math>-магнитное квантовое число). Вырожденные состояния. Кратность вырождения энергетического уровня (<math>n^2</math>). Условные обозначения состояний электронов с различными значениями момента импульса. Схема уровней энергии (спектр). Правило отбора азимутального квантового числа, как следствие закона сохранения</p>	<p>7. Квантовая теория атома водорода</p>	<p>2 Изучение спектра атома водорода и определение постоянной Ридберга.</p>	<p>Монохроматор, газоразрядная трубка, ртутная лампа</p>	<p>Изучение дополнительной литературы</p> <p>Изучение лекционного материала</p>	<p>1</p> <p>2</p>	<p>Экзамен, защита лабораторных работ</p>

7	6	<p>ния 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.</p> <p><u>Лекция 11. Спин электрона.</u></p> <p>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.</p>			Рефераты по истории атомной физики	4	Экзамен
8	6	<p><u>Лекция 12. Принцип тождественности (принцип неразличимости одинаковых частиц).</u> Симметричные и антисимметричные пси-функции. Частицы с целыми и полуцелыми спинами. 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.</p>			РГР Расчет распределения радиальной плотности вероятности электронов в атоме. Выполнение домашних заданий по решению задач.	4  1,5	Экзамен

9	7	<u>Лекция 13. Тема 7: Многоэлектронные атомы.</u> 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.	8. Многоэлектронные атомы. Оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация.			Подготовка к выполнению физического практикума  Изучение лекционного материала	3  1	Экзамен
9	7	<u>Лекция 14. Схема возможных состояний электронов в атомах щелочных металлов.</u> Правило отбора для переходов между состояниями. Эффективное квантовое число.		3. Изучение спектра натрия.	Комплекс ЛКК-1	Подготовка к выполнению физического практикума	3	Экзамен, защита лабораторных работ
10	7	<u>Лекция 15. Общие сведения о строении сложных атомов.</u> Векторная модель и состояния электронов в атомах щелочных металлов. Схема уровней энергии. Главная и побочные серии в спектре.		4. Квантовые числа, энергетические состояния атомов и молекул		Проработка конспектов лекций	1	Экзамен, защита лабораторных работ
11	8	<u>Лекция 16. Тема: Электромагнитные переходы в атомах.</u>  Спонтанные и вынужденные переходы. Работы Эйнштейна по возможности установления равновесности 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			Видеофильм «Лазеры»	Изучение дополнительной литературы  Проработка конспектов лекций	2  1	Экзамен, сдача РГР

		температуры. Трехуровневая система. Полоса возбужденных уровней, метастабильный уровень и основной. Накачка. Каскад излучения. Резонатор. Импульсные лазеры и непрерывно действующие. Рабочие тела лазеров.						
11	9	Лекция 17. Тема: 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.				Выполнение домашних заданий по решению задач.  Подготовка к выполнению физического практикума.	1,5  3	Экзамен
12	10	Лекция 18. Тема: 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 компоненты 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	9. Эффект Зеемана	5. Изучение эффекта Зеемана	Комплекс ЛКК-1	Подготовка к выполнению физического практикума	3	Экзамен, защита лабораторных работ

		<p>простой: сложная карта расщепления замещается простым триплетом Лоренца.</p> <p>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<sup>2</sup>. Квадратичное явление Штарка наблюдается на линиях некоторых элементов.</p> <p>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.</p>						
13	1 1	<p><u>Лекция 19. Тема: Молекула.</u> 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 анти параллельными 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.</p>		. Изучение спектра поглощения молекулы иода.		Подготовка к выполнению физического практикума	3	Экзамен, защита лабораторных работ
					Изучение лекционного материала	1		
13	11	<p><u>Лекция 20. Тема: Комбинационное рассеяние света.</u> «Фиолетовые» и «красные» спутники и влияние на них температуры. Люминесценция жидких и твердых тел. Правило Стокса. Применение люминесценции.</p>		7. Получение и анализ электронных спектров орга-	Спектрофотометр СФ - 46	Изучение дополнительной литературы	1	Экзамен, защита лабораторных работ
						Изучение лекционного материала	2	

				нических красителей				
14	12	<p><u>Лекция 21. Тема: Макроскопические квантовые явления.</u></p> <p>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 Брегга. Движение свободного электрона в потенциальной яме бесконечной протяженности.</p>				Рефераты по симметрии кристаллических структур	3	Экзамен
15	12	<p><u>Лекция 22. Движение электронов в идеальной кристаллической решетке.</u></p> <p>Обратная кристаллическая решетка. Уравнение Шредингера. Волновая функция Блоха. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны в твердых телах. Энергетический спектр электрона. Закон дисперсии.</p>				Подготовка к выполнению физического практикума	3	Экзамен
15	12	<p><u>Лекция 23. Зонные модели металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков.</u></p> <p>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.</p>	8. Определение энергии активации энергии полупроводника	Термистор ММГ – 1 Электрический нагреватель Цифровой вольтметр	Подготовка к коллоквиуму	4	Экзамен, защита лабораторных работ	

16	13	<p><u>Лекция 24. Тема: Статистическое распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</u></p> <p>Квантовая статистика. Шестимерное фазовое <math>\mu</math> – 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.</p>		9. Коллоквиум	<p>Проработка конспекта лекции.</p> <p>Изучение лекционного материала</p>	2 2	Экзамен
17	13	<p><u>Лекция 25. Тема: Статистика Бозе-Эйнштейна. Бозоны.</u></p> <p>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.</p>			<p>Изучение дополнительной литературы</p> <p>Проработка конспекта лекции.</p>	1 2	Экзамен
17	14	<p><u>Лекция 26. Тема: Энергия Ферми.</u></p> <p>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.</p>			<p>Квантование энергии Ферми в магнитном поле.</p> <p>Проработка лекционного материала.</p>	2 2	Экзамен
18	15	<p><u>Лекция 27. Тема: Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.</u></p> <p>Сверхпроводимость. Явление, в котором квантово-механические эффекты обнаруживаются в макромасштабах. БКШ – теория (Бардин, Купер, Шриффер), Боголюбов. Отталкивание и взаимное притяжение электронов в сверхпроводящем со-</p>			<p>Проработка лекционного материала.</p>	1	Экзамен



стоянии. 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, 1962г. открытие эффекта Джозефсона в 1963г. 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. 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 1941 г. температура вырождения. Конденсация Бозе-Эйнштейна в пространстве импульсов. Фононы и ротонны в жидком гелии. Спектр возбуждения. Сверхтекучесть – явление, в котором проявляется квантование в макроскопических масштабах.						
--	--	--	--	--	--	--	--

## ПЛАН – КОНСПЕКТ 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 Боате 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. Комптон 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 способам 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 произведения 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 строению 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...  $R = 2.07 \times 10^{16} \text{ c}^{-1}$  – 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  $\hbar$ .

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. Рёс-сель-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 Рожденственскому. 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 насе-

ленность. 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.

### **Тема10. 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 компоненты 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.

### **Тема11. 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 Шредингера. 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 жид-

ком гелии. Спектр возбуждения. Сверхтекучесть – явление, в котором проявляется квантование в макроскопических масштабах.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

1. Атом Резерфорда. Равновесное электромагнитное излучение.
2. Сериальные закономерности. Теория атома по Бору.
3. Гипотеза де-Бройля. Длина волны де-Бройля.
4. Соотношение неопределенностей
5. Контрольная работа.
6. Уравнение Шредингера. Спектр энергий. Волновые функции.
7. Квантовая теория атома водорода Движение частицы в центрально-симметричном поле Туннельный эффект.
8. Многоэлектронные атомы. Оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Приближения LS и jj-связей. Терм. Состояние.
9. Эффект Зеемана.

## **ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ**

1. Квантовые числа. Энергетические состояния атомов и молекул.
2. Определение энергии активации полупроводника.
3. Изучение спектра атома водорода и определение постоянной Ридберга.
4. Определение потенциала возбуждения атомов инертных газов.
5. Изучение спектра натрия.
6. Получение и анализ электронных спектров органических красителей.
7. Изучение эффектов Зеемана.
8. Изучение спектра поглощения молекул иода.

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

### При изучении теоретического материала:

- Самостоятельная работа при изучении некоторых вопросов программы.
- проработка конспектов лекций.
- изучение лекционного материала по рекомендованной литературе.
- изучение дополнительной литературы.
- выполнение расчетно-графических работ.
- выполнение домашних заданий по решению задач.
- подготовка к семинарским занятиям.
- подготовка к коллоквиумам.
- подготовка к контрольным работам.
- подготовка к участию в олимпиадах и конференциях.

### При выполнении физического практикума:

- изучение методических рекомендаций к выполнению лабораторных работ и составление конспектов по теории и методике эксперимента
- оформление отчетов по выполненным лабораторным работам. Физического практикума.
- изучение литературы к защите выполненных работ.

**Контроль самостоятельной работы** со стороны преподавателя включает следующее:

- анализ итогов контрольной работы, проводимой на занятии с разбором каждой работы;
- проверка домашних заданий;
- анализ результатов коллоквиума по теоретическому курсу дисциплины;
- проверка подготовки студента к выполнению лабораторной работы (знание теоретического материала и владение методикой эксперимента данной лабораторной работы);
- контроль остаточных знаний;
- подготовка расчетно-графических работ.

Контрольная работа и задачи на экзамен формируются из банка задач, представленных в технологической карте по проведению практических занятий.

Все виды контроля занятий отражены в учебных картах по теоретическому курсу, планах практических занятий и вопросам для самоконтроля при изучении дисциплины «Физика атомов и атомных явлений».

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Специфика законов микромира.
2. Фотоэффект и уравнение Эйнштейна.
3. Эффект Комптона. Электроны отдачи.
4. Энергия и импульс фотона. Давление света.
11. Законы теплового излучения. Единство волновых и корпускулярных свойств света.
12. Волновой пакет и частица. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де-Бройля. Свойство волн де-Бройля. Экспериментальное подтверждение волн де Бройля. Статистическое истолкование волн де-Бройля.
13. Соотношения неопределенностей. Принцип причинности.
14. 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.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

### 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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

### БИЛЕТ № 3

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



АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

#### БИЛЕТ № 4

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

#### БИЛЕТ № 5

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

#### 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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 7

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 8

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 9

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.  
Заведующий кафедрой  
Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ  
Факультет ИФФ  
Курс 3  
Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 10

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.  
Заведующий кафедрой  
Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ  
Факультет ИФФ  
Курс 3  
Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 11

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.  
Заведующий кафедрой  
Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ  
Факультет ИФФ  
Курс 3  
Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

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.

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 13

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

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.

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 15

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

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.

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 17

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 18

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 19

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 20

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 21

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 22

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 23

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

АмГУ

Утверждено на заседании кафедры  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2006 г.

Заведующий кафедрой

Утверждаю:

Кафедра ТиЭФ

Факультет ИФФ

Курс 3

Дисциплина Физика атомов  
и атомных явлений

БИЛЕТ № 24

1. Полосы равного наклона. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.
2. Зонная теория проводимости твердых тел. Металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики.
3. Задача.

**ВОПРОСЫ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА ПО РАЗДЕЛУ  
«ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ»**

1. Основные положения квантовой механики: а) гипотеза де Бройля; б) физическая природа волн де Бройля; в) соотношение неопределенностей; г) волновая функция, ее свойства.

2. Простейшие задачи квантовой механики: а) прохождение частицы через потенциальный барьер, в) спектр энергий и собственные функции атомов водорода.

3. Периодическая система элементов, а) квантовые числа; б) принцип Паули; в) заполнение электронных оболочек и подоболочек; г) лантаноиды и актиноиды; д) трансурановые элементы.

4. Правила квантования: а) момент количества движения микрочастицы, его проекция; б) квадрат момента количества движения; в) правила сложения моментов количества движения; г) орбитальный магнитный момент электрона; д) спин электрона.

5. Векторная модель атома, а) полный механический и магнитный моменты электрона; б) магнетон Бора; в) множитель Ланде.

6. Тонкая структура спектральных термов, а) релятивистская поправка; б) спин-орбитальное взаимодействие; в) постоянная тонкой структуры, ее физический смысл; г) тонкая структура спектра атома водорода.

7. Эффект Зеемана: а) простой эффект Зеемана - сильное поле; б) сложный эффект Зеемана - слабое поле;

8. Атомы со многими электронами: а) принцип тождественности одинаковых частиц; б) обменное вырождение; в) принцип Паули.



## КОНТРОЛЬ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ

### *Вариант № 1.*

1. Исходя из формулы Планка для спектральной энергии равновесного электромагнитного излучения  $P_\omega$  получить связь между частотой, соответствующей максимуму  $P_\omega$ , и температурой (закон смещения Вина).
2. Электрон движется в атоме водорода по первой боровской орбите. Принимая, что допускаемая неопределенность составляет 10 % от ее числового значения, определите неопределенность координаты электрона. Применимо ли в данном случае для электрона понятие траектории?
3. Частица в момент  $t=0$  находится в состоянии  $\Psi = A \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{a^2} + ikx\right)$ , где  $A, a$  – некоторые постоянные. Найти: а)  $\langle x \rangle$ ; б)  $\langle p_x \rangle$  – среднее значение проекции импульса.
4. Напишите электронные конфигурации первых десяти элементов таблицы Менделеева. Воспользовавшись правилами Хунда, определите их основные термы.

### *Вариант № 2.*

1. Рассматривая рассеяние рентгеновского излучения веществом, как результат столкновения фотона с неподвижным электроном, получить выражение для смещения длины волны падающего излучения в зависимости от угла рассеяния (эффект Комптона).
2. Определите отношение неопределенности скорости электрона, если его координата установлена с точностью до  $10^{-5}$ , и пылинки массой  $m=10^{-12}$  кг, если ее координата установлена с такой же точностью.
3. Волновая функция, описывающая основное состояние электрона в атоме водорода имеет вид  $\Psi = A e^{-r/a}$  где  $r$  – расстояние электрона от ядра,  $a$  – первый боровский радиус. Определите наиболее вероятное расстояние  $r_b$  электрона до ядра.
4. На сколько компонент расщепится пучок атомов бора, находящихся в основном состоянии, в эксперименте Штерна и Герлаха в случае слабого и сильного магнитных полей. В сильном поле LS взаимодействием пренебречь.

### *Вариант № 3.*

1. Фотон с длиной волны  $\lambda=6,0$  пм рассеялся под прямым углом на покоящемся свободном электроне. Найти: а) частоту рассеянного фотона; б) кинетическую энергию электрона отдачи.
2. Докажите, что энергетические уровни водорода могут быть описаны выражением  $E = \frac{2\pi \hbar^2}{n^2}$ , где  $R$  – постоянная Ридберга.
3. Частица массы  $m$  находится в одномерной потенциальной яме в основном состоянии. Найти энергию основного состояния, если на краях ямы  $\Psi$ -функция вдвое меньше, чем в середине ямы.
4. Укажите переходы, образующие тонкую структуру головной линии серии

Бальмера в спектре атома водорода.

**Вариант № 4.**

1. Исходя из формула Планка для спектральной энергии равновесного электромагнитного излучения  $P_\omega$  получить зависимость объемной плотности энергии излучения от температуры (закон Стефана-Больцмана).
2. Определить  $\omega$ -круговую частоту обращения электрона на  $n=1$  орбите водорода подобного иона. Вычислить эту величину для иона  $He^+$  при  $n=2$ .
3. Частица находится в двумерной прямоугольной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < a$ ,  $0 < y < b$ ). Определить вероятность нахождения частицы с наименьшей энергией в области  $0 < x < a/3$ .
4. Заполненной электронной оболочке соответствует главное квантовое число  $n=3$ . Определите число электронов на этой оболочке, которые имеют одинаковые квантовые числа: а)  $m_s = -1/2$ ; б)  $m_\ell = 0$ ; в)  $m_\ell = -1$ ,  $m_s = 1/2$ .

**Вариант № 5.**

1. Фотон с энергией 250 кэВ рассеялся под углом  $\theta = 120^\circ$  на первоначально покоящемся свободном электроне. Определить энергию рассеянного фотона.
2. Используя соотношение неопределенностей в форме  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ , оцените минимально возможную полную энергию электрона в атоме водорода. Примите неопределенность координаты равной радиусу атома. Сравните полученный результат с теорией Бора.
3. Волновая функция  $\Psi = A \cdot \sin(2\pi x/\ell)$  определена только в области  $0 \leq x \leq \ell$ . Используя условие нормировки, определите нормировочный множитель  $A$ .
4. Нарисовать схему расщепления возможные переходы между уровнями термов  $^2P$  и  $^2S$  в слабом и сильном магнитном поле. В сильном поле LS взаимодействием пренебречь.

**Вариант № 6.**

1. Фотон рассеялся под углом  $\theta = 120^\circ$  на покоящемся свободном электроне, в результате чего электрон получил кинетическую энергию  $T = 0,45$  МэВ. Найти энергию фотона до рассеяния.
2. След пучка электронов на экране электронно-лучевой трубки имеет диаметр  $d \approx 0,5$  мм. Расстояние от электронной пушки до экрана  $L \approx 20$  см, ускоряющее напряжение  $U = 10$  кВ. Оценить с помощью соотношения  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$  неопределенность координаты электрона на экране.
3. Волновая функция, описывающая основное состояние электрона в атоме водорода, имеет вид  $\Psi = A e^{-r/a}$ , где  $r$  - расстояние электрона от ядра,  $a$  - первый боровский радиус. Определите среднее значение квадрата расстояния  $\langle r^2 \rangle$ ; электрона до ядра в основном состоянии.
4. Заполненной электронной оболочке соответствует главное квантовое число  $n=4$ . Определите число электронов на этой оболочке, которые имеют одинаковые квантовые числа: а)  $m_\ell = -3$ ; б)  $m_s = 1/2$ ,  $\ell = 2$ ; в)  $m_s = -1/2$ ,  $m_\ell = 1$ .

## КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«Отлично»	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.
«Хорошо».	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.
«удовл»	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.
«неуд.»	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.

**Зачет** – итоговая аттестация по дисциплине. Оценка (зачет) по этим видам контроля складывается из текущей работы студента в семестре, промежуточного контроля, самостоятельной работы и ответе на экзамене (зачете) (40%

- промежуточный контроль знаний студентов, 60% - результаты итогового зачета (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 зачета или экзамена.