

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.О.15.05 АТОМНАЯ ФИЗИКА**

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программу составили  
ст. преподаватель, Герасимова Марина Анатольевна

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины:

Цель изучения дисциплины состоит в формировании мировоззренческих представлений о микромире, его пространственно-временных масштабах и основных законах, включающих квантовые представления.

В результате освоения дисциплины «Атомная физика» приобретаются знания об ограниченности теорий и моделей классической физики, опытных обоснованиях и основных принципах квантовой теории, истории формирования представлений о структуре микромира, фундаментальных взаимодействиях и областях их проявления, об использовании явлений квантовой физики в современных высоких технологиях.

В ходе изучения разделов должны быть сформированы умения использовать фундаментальные понятия, законы и модели квантовой теории, атомной физики для решения различных задач, в том числе прикладных, методы теоретического и экспериментального исследования явлений квантовой оптики, атомной физики, методы оценки достоверности результатов и точности измерений, приемы оценки численных значений порядков величин, характерных для данного раздела физики.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачами дисциплины являются:

– использование полученных квантовых представлений о физике микромира на уровне атомов, молекул, кристаллов и экспериментальных знаний навыков и умений по курсу для дальнейшего успешного изучения специальных дисциплин;

– применение полученных знаний, навыков и умений для выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы по выбранной теме в рамках курсовых и выпускных работ бакалавров;

– владение физическими моделями в области атомной физики и системами единиц измерения физических величин для решения конкретных задач;

– умение разбираться в основах образования спектров групп элементов таблицы Менделеева в связи с изучением конкретных явлений взаимодействия света с атомами, молекулами и кристаллами;

– овладение стандартными инструментальными средствами извлечения информации об энергетической структуре и строении свободных и связанных атомов, ионов и молекул;

– умение работать с информацией в области атомной физики, используя в качестве источников отечественную и зарубежную научную периодическую литературу, монографии и учебники, электронные ресурсы и Интернет;

– использование знаний физических законов, работающих в области атомной физики в последующей профессиональной деятельности.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-1	Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;

<p>ОПК-1.1 Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики</p>	<p>Знать основные понятия и инструментальные средства в физике микромира; связь макро- и микромира; современное представление об атоме и закономерности, определяющие свойства атомов и периодичность их изменения. Уметь извлекать информацию о характеристиках атомов, молекул или кристаллов на основе квантово-механических моделей и применяет полученные знания в своей профессиональной деятельности. Владеть основными методами извлечения информации из результатов эксперимента с применением теоретических моделей квантовой физики.</p>
<p>ОПК-1.2 Использует экспериментальные и теоретические методы исследований</p>	<p>Знать характеристики основного оборудования и принципы проведения научных исследований физических объектов, систем и процессов в микромире. Уметь представлять результаты научных исследований. Владеть методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации, навыками применения современных информационно-коммуникационных технологий.</p>

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

## 2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		5
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	4 (144)	4 (144)
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
практические занятия	1 (36)	1 (36)
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	1 (36)	1 (36)
<b>Вид промежуточной аттестации (Экзамен)</b>	36	Экзамен

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
<b>Раздел 1. Основы квантовых представлений атомной физики</b>					
1.	Лек	Масштабы и особенности описания микромира	2	5	
2.	Пр	Микромир атомно-молекулярных масштабов	2	5	
3.	Лек	Волны и кванты. Тепловое излучение	2	5	
4.	Пр	Тепловое излучение. Квантование энергии	2	5	
5.	Лек	Квантовые свойства света.	2	5	
6.	Пр	Квантовые свойства света: давление света, фотоэффект, эффект Комптона	2	5	
7.	Ср	Спектральная чувствительность глаза	2	5	
<b>Раздел 2. Волновые свойства частиц. Основы квантовой механики</b>					
1.	Лек	Частицы и волны. Корпускулярно-волновой дуализм	2	5	
2.	Пр	Волновые свойства микрочастиц: дебройлевские длины волн	2	5	
3.	Лек	Экспериментальная проверка гипотезы де Бройля	2	5	
4.	Лек	Соотношение неопределенностей: применение и следствия	2	5	
5.	Пр	Соотношение неопределенностей. Дифракция электронов	2	5	
6.	Лек	Волновая функция и её физический смысл. Уравнение Шрёдингера. Описание движения свободной частицы	2	5	
7.	Пр	Основы квантовой механики. Волновая функция. Средние величины. Уравнение Шрёдингера	2	5	
8.	Лек	Уравнение Шрёдингера для описания частиц в потенциальных ямах. Туннельный эффект	2	5	
9.	Пр	Уравнение Шрёдингера для описания движения микрочастиц в потенциальных ямах и барьерах	2	5	
10.	Ср	Гидродинамические аналоги уравнения Шрёдингера	2	5	
<b>Раздел 3. Одноэлектронный атом</b>					
1.	Лек	Закономерности в атомных спектрах. Модель водородоподобного атома Резерфорда - Бора	2	5	
2.	Пр	Модели атома. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда	2	5	
3.	Пр	Модель Резерфорда – Бора одноэлектронного атома. Постулаты Бора	2	5	
4.	Лек	Квантовомеханическое описание атома водорода. Квантовые числа	2	5	
5.	Пр	Спектральные серии атома водорода и водородоподобных ионов	2	5	
6.	Лек	Магнитные свойства электрона. Пространственное квантование. Гипотеза о спине. Спин-орбитальное взаимодействие	2	5	
7.	Лек	Атом во внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана	2	5	
8.	Пр	Механический и магнитный моменты атома. Атом во внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана	2	5	
9.	Ср	Сверхтонкая структура. Лэмбовский сдвиг	2	5	
10.	Ср	Линейный и квадратичный эффекты Штарка	2	5	

<b>Раздел 4. Многоэлектронные атомы. Молекулы</b>					
1.	Лек	Спектральные термы многоэлектронных атомов. Сложение моментов.	2	5	
2.	Пр	Квантовые числа. Сложение моментов и термы многоэлектронных атомов	2	5	
3.	Лек	Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов	2	5	
4.	Пр	Спектры щелочных металлов. Правила отбора	2	5	
5.	Лек	Квантовая статистика. Заполнение электронных оболочек. Принцип Паули. Периодический закон Д.И. Менделеева	2	5	
6.	Пр	Заполнение электронных оболочек. Принцип Паули. Правила Хунда. Периодический закон Менделеева	3	5	
7.	Пр	Рентгеновские спектры. Закон Мозли	2	5	
8.	Лек	Молекула. Вращательная и колебательная структура спектров. Комбинационное рассеяние света	2	5	
9.	Пр	Молекулы. Колебательные и вращательные спектры	3	5	
10.	Ср	Спектры щелочноземельных атомов	2	5	
<b>Раздел 5. Макроскопические квантовые явления</b>					
1.	Лек	Энергетические зоны в кристаллах	2	5	
2.	Лек	Принципы оптического усиления и генерации. Лазеры	2	5	
3.	Пр	Кристаллы. Комбинационное рассеяние света	2	5	
4.	Ср	Коэффициенты Эйнштейна и связь между ними	2	5	
<b>Раздел 6. Проверка полученных знаний</b>					
1.	РГР	Решение задач по темам разделов 1, 2, 3 (контрольная работа 1)	4	5	
2.	РГР	Решение задач по темам разделов 3, 4, 5 (контрольная работа 2)	4	5	
3.	Ср	Подготовка к экзамену	12	5	
4.	Ср	Разбор проблемных теоретических вопросов и задач	4	5	
5.	Экзамен	Аттестация знаний	36	5	

#### **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

##### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Гольдин Л. Л., Новикова Г. И. Введение в квантовую физику: учебное руководство. - Москва: Наука, 1988. - 328 с.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Т. 5. Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие для физических специальностей вузов: [в 5-ти т.]. - Москва: Физматлит, 2006. - 782 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0098899.pdf>.
3. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: Учеб. пособие для студентов вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 416 с..
4. Иродов И. Е. Квантовая физика. Основные законы: учеб. пособие для вузов. - Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2007. - 256 с..
5. Матвеев А. Н. Атомная физика: учебное пособие для студентов вузов. - Москва: Оникс, 2007. - 431 с..
6. Гарднер Д., Китайгородский А. И. Атомы сегодня и завтра: перевод с английского. - Москва: Знание, 1979. - 144 с..
7. Вихман Э. Х., Шальников А. И., Вайсенберг А. О. Квантовая физика: [учебное руководство]. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 391 с..
8. Фриш С. Э. Оптические спектры атомов: монография. - Ленинград: Государственное издательство физико-математической литературы [Физматгиз], 1963. - 640 с..
9. Ельяшевич М. А., Грибов Л. А. Атомная и молекулярная спектроскопия: Ч. 2. Атомная спектроскопия: в 3-х ч.. - Москва: URSS, 2008. - 415 с..
10. Шпольский Э. В. Атомная физика. В 2 т. Т. 1. Введение в атомную физику: учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1984. - 552 с..
11. Шпольский Э. В. Атомная физика. В 2 т. Т. 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома: учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1984. - 438 с..
12. Фано У., Фано Л., Пономарев Л. И. Физика атомов и молекул: перевод с английского. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. - 656 с..

##### **4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Microsoft Office Professional Plus 2007 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.
2. Microsoft Office Professional Plus 2016 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.
3. Microsoft Windows Professional 7 Russian. Операционная система Windows.
4. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.
5. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

##### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. on-line тестирование <http://тестыпофизике.рф>

#### **5 Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

## **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

1. Лекционная аудитория должна быть оснащена современной маркерной доской размером не менее 240 x 120 см, видеопроекционным оборудованием для презентаций с возможностью воспроизведения звуковых записей.

2. Помещения для проведения семинарских занятий должны иметь маркерные или интерактивные доски, современную учебную мебель.

3. Библиотека должна иметь рабочие места для студентов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных, выход в локальную сеть университета и Интернет.

4. Наглядные материалы (схемы экспериментальных установок и оптических устройств, диаграммы переходов в атомах и молекулах).

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.15.05 Атомная физика

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

Красноярск 2025

**1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами**

Се- местр <sup>1</sup>	Код и содержание индикатора компе- тенции	Результаты обучения <sup>2</sup>	Оценочные средства <sup>3</sup>
ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках			
5	ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные понятия и инструментальные средства в физике микромира; связь макро- и микромира; современное представление об атоме и закономерности, определяющие свойства атомов и периодичность их изменения	тестовые задания для самоконтроля; индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену
		уметь извлекать информацию о характеристиках атомов, молекул или кристаллов на основе квантово-механических моделей и применять полученные знания в своей профессиональной деятельности	тестовые задания для самоконтроля; индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену
		владеть основными методами извлечения информации из результатов эксперимента с применением теоретических моделей квантовой физики	тестовые задания для самоконтроля; индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену
5	ОПК-1.2: Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	знать характеристики основного оборудования и принципы проведения научных исследований физических объектов, систем и процессов в микромире	тестовые задания для самоконтроля; индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену
		уметь представлять результаты научных исследований	индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену

<sup>1</sup> Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

<sup>2</sup> Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

<sup>3</sup> Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

		владеть методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации, навыками применения современных информационно-коммуникационных технологий	тестовые задания для самоконтроля; индивидуальные задания (РГР); вопросы и задачи к экзамену
--	--	---	--

## 2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

ФОС содержит:

- банк из 400 тестовых заданий для самостоятельной проверки и закрепления знаний, полученных студентами на лекциях и практических занятиях по каждой теме – текущий самоконтроль;
- два набора индивидуальных заданий (РГР №1, 2), каждый из которых состоит из 6 вариантов по 5 задач для проведения текущей аттестации;
- комплект из 50 теоретических вопросов и 30 задач для проведения промежуточной аттестации в виде устного экзамена.

### Примеры тестовые задания для самоконтроля

1. Размер атома больше размера атомного ядра в ... раз.  
а) 10      б)  $10^2$       в)  $10^3$       г)  $10^4$       д)  $10^7$   
(Эталон: г)
2. Физическая постоянная, которая в квантовой физике представляет минимальный момент импульса:  
а) Больцмана      б) Ридберга      в) Планка      г) тонкой структуры  
(Эталон: в)
3. Последовательность расположения характеристик электрона, имеющих размерность длины, по возрастанию:  
а) радиус Бора      б) комптоновская длина волны      в) классический радиус  
(Эталон: в; б; а)
4. Последовательность расположения энергий ионизации атомов щелочных металлов и водорода по уменьшению:  
а) литий      б) калий      в) рубидий      г) натрий      д) цезий      е) водород  
(Эталон: е; а; г; б; в; д)
5. Минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом, называется ...  
а) атомом      б) квантом      в) корпускулой      г) эфиром      д) кварком  
(Эталон: б)

б) Законы для абсолютно черного тела, применимые в случае, когда  $h\omega \gg kT$  :

- а) закон Вина
  - б) формула Рэлея – Джинса
  - в) формула Планка
  - г) закон Стефана – Больцмана
- (Эталон: а; в; г)

7. Соответствие опытов демонстрируемым физическим явлениям:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1) опыты Франка – Герца       | а) дискретность атомных состояний                  |
| 2) опыты Дэвиссона и Джермера | б) волновая природа электронов                     |
| 3) опыты Брауна и Твисса      | в) статистические свойства фотонов                 |
| 4) опыты Резерфорда           | г) планетарная модель атома                        |
|                               | д) пространственное квантование магнитных моментов |

(Эталон: 1-а; 2-б; 3-в; 4-г)

8. Длины волн фотона, при которых будет наблюдаться фотоэффект для электронов с работой выхода металла 2 эВ:

- а) 1 мкм
- б) 0,6 мкм
- в) 700 нм
- г) 400 нм

(Эталон: б; г)

9. Максимальная скорость фотоэлектронов полностью определяется ...

- а) частотой фотона и энергией выхода фотоэлектрона
- б) энергией выхода фотоэлектрона и интенсивностью падающего излучения
- в) интенсивностью падающего излучения и спектральной чувствительностью металла
- г) спектральной чувствительностью металла и частотой фотона

(Эталон: а)

10. Последовательность углов рассеяния в порядке возрастания комптоновского смещения длины волны:

- а)  $\Theta = \pi/4$
- б)  $\Theta = \pi/2$
- в)  $\Theta = -3\pi/4$
- г)  $\Theta = \pi$

(Эталон: а; б; в; г)

11. В результате комптоновского рассеяния энергия фотона ...

- а) уменьшается
- б) увеличивается
- в) остается без изменения

(Эталон: а)

12. Последовательность микрочастиц по увеличению их дебройлевской длины волны:

- а) электрон
- б) протон
- в)  $\alpha$ -частица
- г) нейтрон

(Эталон: в; г; б; а)

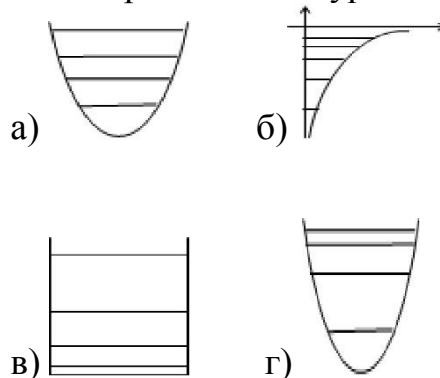
13. Электрон с неопределенностью скорости порядка 100 км/с локализован в области ...

- а) 0,1 нм   б) 10 нм   в) 1000 нм   г) 10 мкм  
(Эталон: б)

14. Просачивание частиц через потенциальный барьер называется \_\_\_\_\_.  
(Эталон: туннельным эффектом; туннельный эффект)

15. Последовательность частиц по увеличению энергий их основного состояния в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме:  
а) электрон   б) дейтрон   в) протон   г)  $\alpha$ -частица  
(Эталон: а; в; б; г)

16. Соответствие моделей схеме разрешенных энергетических уровней:  
1) гармонический осциллятор  
2) частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме  
3) водородоподобный атом



(Эталон: 1-а; 2-в; 3-б)

17. Значение энергии в стационарных состояниях водородоподобного атома зависят только от ...  
а)  $n$    б)  $l$    в)  $m_s$    г)  $m_l$    д)  $m_j$    е)  $j$   
(Эталон: а)

18. Последовательность изотопов водорода по уменьшению длины волны излучения:  
а) тритий   б) водород   в) дейтерий  
(Эталон: б; в; а)

19. Соответствие обозначений квантовых чисел их названиям  
1)  $n$    а) главное квантовое число  
2)  $s$    б) спиновое квантовое число  
3)  $l$    в) орбитальное квантовое число  
4)  $j$    г) квантовое число полного момента  
д) магнитное квантовое число

(Эталон: 1-а; 2-б; 3-в; 4-г)

20. Собственный или внутренний момент количества движения называется \_\_\_\_\_.  
(Эталон: спин; спином)

21. Наличие у атомов магнитных моментов и их квантование было доказано опытами ...

- а) Резерфорда      б) Франка – Герца      в) Штерна – Герлаха  
(Эталон: в)

22. Количество компонент, на которое расщепится пучок атомов водорода при проведении опыта Штерна – Герлаха:

- а) 1    б) 2    в) 3    г) 5  
(Эталон: б)

23. Тонкая структура спектральных линий объясняется ...

- а) конечной массой ядра  
б) спин-орбитальным взаимодействием  
в) взаимодействием магнитного момента электрона со слабым полем ядра  
г) взаимодействием электрона с флуктуациями электромагнитного поля  
(Эталон: б)

24. Соответствие наборов квантовых чисел термам:

- |                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| 1) $n = 3; l = 2; s = 0$   | а) $2^2S_{1/2}$ |
| 2) $n = 3; l = 2; s = 3/2$ | б) $3^4D_{3/2}$ |
| 3) $n = 2; l = 0; s = 1/2$ | в) $2^2P_{3/2}$ |
|                            | г) $3^1D_2$     |

(Эталон: 1-г; 2-б; 3-а)

25. Соответствие расщепления спектральных линий атома наблюдаемому явлению (эффекту):

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1) в отсутствие внешних полей    | а) тонкая структура      |
| 2) во внешнем магнитном поле     | б) эффект Зеемана        |
| 3) во внешнем электрическом поле | в) эффект Мессбауэра     |
|                                  | г) сверхтонкая структура |
|                                  | д) эффект Штарка         |

(Эталон: 1-а; 2-б; 3-д)

26. Число линий, которое наблюдается в эффекте Зеемана при расщеплении спектральной линии  $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$  в слабом магнитном поле:

- а) 2    б) 3    в) 9    г) 15    д) 1  
(Эталон: б)

27. В любом квантовом состоянии может находиться только один электрон согласно ...

- а) правилу отбора  
б) теореме Ферма  
в) соотношению неопределенностей Гейзенберга  
г) принципу Паули

(Эталон: г)

28. Соответствие электронных конфигураций их термам в основном состоянии:

- |           |                  |
|-----------|------------------|
| 1) $3p^4$ | а) ${}^3P_2$     |
| 2) $4s^2$ | б) ${}^1S_0$     |
| 3) $2p^1$ | в) ${}^2P_{1/2}$ |
| 4) $2p^1$ | г) ${}^2D_{3/2}$ |
|           | д) ${}^3P_0$     |

(Эталон: 1-а; 2-б; 3-в; 4-г)

29. Соответствие нарушаемого правила отбора запрещенному переходу:

- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1) $\Delta S = 0$        | а) ${}^3F_2 - {}^3P_1$         |
| 2) $\Delta L = 0, \pm 1$ | б) ${}^3S_1 - {}^1S_0$         |
| 3) $\Delta J = 0, \pm 1$ | в) ${}^2F_{5/2} - {}^2D_{5/2}$ |
|                          | г) ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{1/2}$ |

(Эталон: 1-б; 2-а; 3-г)

30. Соответствие характеристик среды и частоты излучения виду рассеяния:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1) мутная среда, постоянство частоты     | а) эффект Тиндаля           |
| 2) однородная среда, изменение частоты   | б) комбинационное рассеяние |
| 3) однородная среда, постоянство частоты | в) эффект Томсона           |
|  | г) рэлеевское рассеяние     |

(Эталон: 1-а; 2-б; 3-г)

### **Методические рекомендации по выполнению тестовых заданий**

Для текущего самоконтроля качества усвоения теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях, студент выполняет тестовые задания по каждому из разделов курса. На каждую тему курса приходится 20-25 тестовых заданий.

Методической особенностью самостоятельной работы по закреплению теоретических знаний является реальная возможность усвоить масштабы и понять основные законы микромира, основанные на квантовых представлениях.

### **Критерии оценивания тестовых заданий**

Успешно пройденным считается тест из 60% решенных заданий по каждой теме теоретического курса. Если в тесте выполнено менее 60%, то его нужно пройти повторно. При этом имеет смысл ещё раз просмотреть и проработать теоретический материал и разобрать решение задач по заданной теме.

### **Примеры вариантов индивидуальных заданий (РГР №1, 2) для проведения текущей аттестации**

### РГР №1

1. На сколько градусов изменилась температура равновесного теплового излучения, если длина волны, соответствующая максимуму в спектре  $\lambda$  увеличилась на  $\Delta\lambda = 260\text{ нм}$ .
2. Найти длину волны рентгеновского излучения, если максимальная кинетическая энергия комптоновских электронов  $0,19\text{ МэВ}$ .
3. Какую энергию нужно дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась с  $\lambda_1 = 100\text{ пм}$  до  $\lambda_2 = 50\text{ пм}$ .
4. Узкий пучок протонов, имеющих скорость  $v = 6 \cdot 10^6\text{ м/с}$ , падает нормально на золотую фольгу толщины  $d = 2\text{ мкм}$ . Найти вероятность рассеяния протонов под углами  $\vartheta < 90^\circ$ .
5. Определить для мезоатома водорода (в котором вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) энергию связи в основном состоянии и первый борковский радиус.

### РГР №2

1. Частица находится в состоянии с  $n = 2$  в одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < l$ ). Найти вероятность пребывания частицы в области  $l/4 < x < l/2$ .
2. Используя правила Хунда, найти основной терм атома, незаполненная подоболочка которого содержит:
  - а) три  $d$ -электрона;
  - б) пять  $p$ -электронов.
3. Определить длины волн спектральных линий, возникающих при переходе возбужденных атомов лития из состояния  $3S$  в основное состояние  $2S$ . Ридберговские поправки для  $S$ -и  $P$ -термов равны  $-0,41$  и  $-0,04$ .
4. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5\text{ кГс}$ . Найти полную величину расщепления в электронвольтах терма  $^1D$ .
5. Найти механический момент молекулы кислорода, вращательная энергия которой  $E = 2,16\text{ МэВ}$ .

### Методические рекомендации по выполнению РГР

Общие положения, которыми необходимо руководствоваться при решении задач.

1. Сначала следует понять, о каких явлениях или процессах идёт речь в задаче, сопоставить им соответствующие законы.
2. Осознать смысл физических величин, описывающих данные процессы и входящих в формулы соответствующих законов.
3. Если это необходимо, нарисовать схему или чертёж, на котором указать соответствующие величины, направления векторных величин, расположение энергетических уровней и т.д.
4. Выяснить, какие величины, входящие в выбранные формулы законов, даны и какие надо определить. Найти необходимые для расчетов табличные величины в справочной литературе.

5. Последовательно используя формулы для нахождения неизвестных величин, получить окончательные рабочие расчетные формулы для величин, которые требуется определить. Как правило, задачи следует решать в общем виде, т.е. в буквенных выражениях. При этом не производятся вычисления промежуточных величин: числовые значения подставляются только в окончательные рабочие формулы, выражающие искомые величины.

6. Произвести расчеты, подставляя числовые значения в системе измерения СИ, или СГС, или внесистемные единицы.

7. Проверить, дает ли общая формула правильную размерность (единицу измерения) искомой величины. Для этого в формулу следует подставить размерность всех величин и произвести необходимые действия. Если полученная таким путем размерность не совпадает с размерностью искомой величины, то задача решена неверно.

8. Оценить адекватность полученных величин масштабам микромира.

### **Критерии оценивания РГР**

Каждое индивидуальное задание (РГР №1 и 2) максимально оценивается в 10 баллов, при этом решение каждой задачи максимально оценивается в 2 балла. Если студент вывел правильную формулу, но не смог получить верный численный результат, то он получается за решение задачи 1 балл. Если студент не смог пояснить ход своего решения, даже имея правильный конечный результат, то решение задачи не засчитывается.

Успешно выполненным и защищенным считается РГР с набранными 6 баллами из 10 возможных. Это требование нужно выполнить для каждого из двух РГР №1 и 2. Если студент не получается положительный результат с первого раза, то он повторно готовится, решает и защищает другой вариант РГР.

### **Вопросы для подготовки к экзамену для проведения промежуточной аттестации**

#### *Раздел 1. Основы квантовых представлений атомной физики*

1. Основные этапы развития физики микромира.
2. Современное представление об атоме. Порядки физических величин в физике микромира.
3. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа.
4. Тепловое излучение. Закон Стефана–Больцмана. Формула Вина.
5. Тепловое излучение. Формула Рэлея–Джинса.
6. Квантование энергии. Формула Планка.
7. Фотоны. Энергия и импульс фотона.
8. Квантовые свойства света. Эффект Комптона.
9. Квантовые свойства света. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Тормозное рентгеновское излучение.

#### *Раздел 2. Волновые свойства частиц. Основы квантовой механики*

10. Частицы и волны. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де Бройля.
11. Экспериментальная проверка гипотезы де Бройля. Дифракция электронов. Опыты Дэвиссона и Джермера, Томсона и Тартаковского. Эффект Рамзауэра.
12. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де Бройля.
13. Соотношения неопределенностей: применение и следствия.
14. Волна де Бройля как решение уравнение Шредингера для свободной частицы.
15. Смысл волновой функции. Вероятность. Плотность вероятности.
16. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
17. Решение уравнения Шредингера для потенциального барьера. Туннельный эффект.
18. Гармонический осциллятор. Решение уравнения Шредингера.  
*Раздел 3. Одноэлектронный атом*
19. Атомные спектры и их закономерности. Постоянная Ридберга. Обобщенная формула Бальмера. Спектральные термы.
20. Экспериментальные данные и основы квантовомеханических представлений о строении атома.
21. Опыты Франка – Герца.
22. Опыты Резерфорда.
23. Модель атома Резерфорда – Бора. Постулаты Бора.
24. Уровни энергии атома водорода. Изотопическое смещение уровней энергии и спектральных линий.
25. Квантование орбит по Бору – Зоммерфельду.
26. Квантовомеханическое описание атома водорода. Уравнение Шредингера.
27. Главное и азимутальное квантовые числа. Вырождение состояний. Статистический вес уровней энергии.
28. Магнитные свойства водородоподобного атома. Квантование магнитного момента и его проекции.
29. Опыт Штерна – Герлаха. Магнитные свойства электрона. Квантование собственного механического и собственного магнитного момента электрона. Спиновое квантовое число.
30. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектральных линий. Лэмбовский сдвиг.
31. Эффект Зеемана: расщепление энергетических уровней в магнитном поле. Эффект Пашена – Бака. Продольный и поперечный эффекты. Поляризация расщепленных спектральных линий.
32. Эффект Штарка: расщепление и смещение энергетических уровней в электрическом поле. Линейный и квадратичный эффекты Штарка.  
*Раздел 4. Многоэлектронные атомы. Молекулы*
33. Неразличимость одинаковых микрочастиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы. Статистические распределения Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна.

34. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек. Периодический закон Д.И. Менделеева.
  35. Рентгеновские характеристические спектры. Закон Мозли.
  36. Учет взаимодействия электронов в многоэлектронных атомах. Метод Хартри – Фока.
  37. Электромагнитные переходы в атомах. Мультиплетность энергетических уровней и линий излучения. Правила отбора. Систематика спектральных термов и спектры многоэлектронных атомов.
  38. Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов.
  39. Схема уровней энергии щелочноземельных атомов.
  40. Типы химической связи в молекулах. Гетерополярные и гомеополярные молекулы.
  41. Двухатомные молекулы. Адиабатическое приближение. Разделение движения молекулы на электронное, колебательное и вращательное.
  42. Двухатомные молекулы. Потенциальные кривые двухатомных молекул. Энергетические состояния двухатомных молекул.
  43. Вращательная структура колебательного спектра и вращательно-колебательная структура электронного спектра двухатомной молекулы.
  44. Правила отбора для молекулярных спектров. Принцип Франка – Кондона.
- Раздел 5. Макроскопические квантовые явления*
45. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна и связь между ними.
  46. Комбинационное рассеяние света.
  47. Нелинейные процессы. Вынужденное комбинационное рассеяние. Активная спектроскопия.
  48. Принципы оптического усиления и генерации. Лазеры. Среды с инверсной заселенностью. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров.
  49. Типы связей атомов в твердых телах. Образование энергетических зон.
  50. Проводимость твердых тел. Сверхпроводимость. Теплоемкость.

### **Примеры вариантов экзаменационного билета**

#### **Билет № 8**

1. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де Бройля.
2. Заполнение электронных оболочек. Периодический закон Д.И. Менделеева.
3. *Задача:* Определить терм основного состояния атома, имеющего на незаполненной оболочке  $4d$ -электрона, его механический и магнитный моменты.

#### **Билет № 13**

1. Соотношения неопределенностей: применение и следствия.
2. Рентгеновские характеристические спектры. Закон Мозли.

3. *Задача:* Определить погрешности скоростей электрона и протона, локализованных в области размером 1 мм.

### **Методические рекомендации по проведению экзамена**

Промежуточная аттестация в конце семестра предусматривает экзамен, допуск к которому студент получает после успешного выполнения и защиты двух индивидуальных заданий (РГР №1, 2). Студенты, не выполнившие предусмотренные учебным планом РГР, к сдаче экзамена не допускаются. Рекомендуется проведение экзамена в устной форме: решение практической задачи и устный ответ по двум теоретическим вопросам по темам из первой и второй половины семестра.

Про проведении устного экзамена на подготовку ответов по вытянутому билету студенту предоставляется 30-35 минут и вспомогательный материал в виде фундаментальных констант, табличных величин и таблицы химических элементов Менделеева. Студент должен быть готовым пояснить все свои записи и обозначения на бумажном носителе, которые он сделал при подготовке ответов на экзаменационный билет. Для выполнения численных расчетов при решении задачи, если это необходимо, студент должен иметь с собой непрограммируемый калькулятор или производить расчеты устно.

### **Критерии оценивания экзамена**

Оценка «отлично» выставляется в случае успешного ответа на два устных вопроса билета и решение задачи, при этом материал должен быть логически выстроен и не требовать большого количества уточняющих вопросов, в конце изложения должно быть проведено обобщение, анализ в виде выводов, студент должен показать глубокие знания понятий и явлений атомной физики.

На оценку «хорошо» студент должен ответить на два теоретических вопроса с небольшими промахами в деталях изложения материала, не всегда аргументировано, уметь анализировать материал, и решить задачу, или ответить на один вопрос, но уверенно, систематизировано и последовательно, и решить задачу, уметь обосновывать выбранные шаги при её решении.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за решение задачи и частичный ответ на устный вопрос, или за ответ на два устных вопроса, при этом допускаются нарушения в последовательности изложения материала, знания материала поверхностные.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за сбивчивый, непоследовательный ответ, при этом отсутствуют базовые знания терминов и явлений по атомной физике. По усмотрению преподавателя итоговая оценка может быть повышена при успешном ответе на дополнительные вопросы.

Разработчик



М.А. Герасимова