

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»**

**Физический факультет**  
**Кафедра общей физики**

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ, д. ф.-м. н. \_\_\_\_\_ В. Е. Блинов  
 « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

**ФИЗИКА И ХИМИЯ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
 Направленность(профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем				
		Лекции	Практические занятия	Консультации в период занятий	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7	144	32	36			52	18	4				2
всего 144 часа/ 4 зачетные единицы, из них: - контактная работа 74 часа												
Компетенции: ОПК-1												

Разработчики:  
 д.ф.-м.н., проф.  
 к.ф.-м.н., ст. преп.

Н. А. Маслов  
 О. А. Горбунов

Зав.кафедрой,  
 д.ф.-м.н., проф.

А.Г. Погосов

Ответственный за образовательную программу  
 д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	10
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Физика и химия атомов и молекул» имеет своей целью дать студентам целостное представление о строении и взаимодействии атомов и молекул, образовании химических связей, научить студентов анализировать и решать базовые задачи атомной и молекулярной физики, сформировать общепрофессиональные навыки физика-исследователя. Дисциплина «Физика и химия атомов и молекул» призвана дать четкие ориентиры физику-исследователю в обширном информационном потоке современности о многообразных создаваемых веществах.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ОПК-1</b> -Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.</p>	<p><b>ОПК-1.1.</b> Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК -1.2.</b> Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественно-научных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК -1.3</b> Работает с учебной литературой в области физики и смежных с ней областях, необходимых в профессиональной деятельности.</p>	<p><b>Знать</b> строение атомов: свойства атома водорода, свойства многоэлектронных атомов, квантовые числа, термы атомов, приближение <i>ls</i>- и <i>jj</i>- связей, правила Хунда, спектральные свойства атомов, правила отбора; строение молекул: валентность, химическая связь, гибридизация, колебательные и вращательные движения, молекулярные спектры, правила отбора; основы взаимодействия атомов и молекул с излучением и заряженными частицами: особенности излучения, поглощения и рассеяния света, рассеяния частиц атомами, молекулами, веществом.</p> <p><b>Уметь</b> решать типовые учебные задачи по основным разделам химии, связанным с образованием химических связей, молекулярными орбиталями, корреляционными диаграммами, гибридизацией; решать типовые учебные задачи на классические и квантовые модели атома, атомные спектры, взаимодействие атомов, описание структуры молекул, молекулярные спектры, процессы излучения, поглощения и рассея-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>ния света атомами и молекулами, в том числе в сплошной среде, атомы и молекулы во внешних электрических и магнитных полях.</p> <p><b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с литературой, требующей знания основной терминологии и понятийного аппарата химии; навыками использования теоретических основ химии при решении смежных физических задач; навыками самостоятельной работы с литературой из различных областей физики, связанной с атомно-молекулярными процессами; навыками использования теоретических основ различных областей физики при решении конкретных физических задач, связанных с атомно-молекулярными процессами; навыками использования теоретических основ различных областей физики при решении конкретных физических задач, связанных с атомно-молекулярными процессами.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика и химия атомов и молекул» направлена на обучение студентов-физиков, получивших базовую подготовку по общефизическим дисциплинам, основной из которых является дисциплины «Электродинамика и оптика», «Квантовая механика-1», «Квантовая механика-2», «Квантовая теория-1», «Квантовая теория-2», «Атомный практикум».

Дисциплина «Физика и химия атомов и молекул» читается в седьмом семестре четвертого, после практической дисциплины «Атомный практикум», который студенты проходят на 3 курсе. В настоящей программе учтено, что многие вопросы атомной физики студенты осваивают при выполнении лабораторных работ в практикуме.

Также для успешного освоения дисциплины, обучающиеся должны знать основы классической и квантовой механики, электродинамики с элементами физической оптики, базисные знания по квантовой электродинамике, они должны иметь элементарные знания по химии.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Консультации в период занятий	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	144	32	36			52	18	4			2
всего 144 часа/ 4 зачетные единицы, из них:											
- контактная работа 74 часа											
Компетенции: ОПК-1											

Реализация дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью проверки заданий для практических занятий, проведения контрольных работ, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, задания для практических занятий.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 36 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 52 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 24 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 74 часа.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Общая трудоемкость дисциплины «Физика и химия атомов и молекул» составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Исторический экскурс. Хронология эволюции взглядов на предмет атомной физики. Излучение атомов. Излучение черного тела. опыты Резерфорда. Модель Бора. Квантомеханическая теория атома. Энергетический спектр атома водорода.	1	6	2	2	2	
2.	Атомы и ионы с одним электроном. Спектр атомарного водорода. Спектральные серии, их тонкая и сверхтонкая структура. Одноэлектронные спектры атомов щелочных металлов. Рентгеновские спектры.	2	6	2	2	2	
3.	Атомы и ионы с двумя электронами. Обменное взаимодействие. Принцип Паули. Спектр атома гелия.	3	6	2	2	2	
4.	Многоэлектронные атомы. Приближенные методы расчета энергии атомов со многими электронами. Электронные оболочки и последовательность их заполнения. Периодическая таблица. Связь между моментами. Энергия стационарных состояний сложных атомов, электронные термы. Двухэлектронные спектры. Систематика сложных спектров. Правила отбора.	4	6	2	2	2	
5.	Контрольная работа по изученным темам	5	4		2	2	
6.	Время жизни электронно-возбужденных состояний атомов. Уширение спектральных линий: естественное, столкновительное и доплеровское. Эффект Дике сужения линий.	5	8	2	2	4	
7.	Правила отбора для одноэлектронных переходов. Интенсивность спектральных линий. Силы осцилляторов. Интенсивности линий тонкой структуры спектров атомов щелочных металлов.	6	8	2	2	4	
8.	Рассеяние света на атомах. Упругое рассеяние. Резонансная флуоресценция. Комбинационное рассеяние. Многофотонное взаимодействие. Нелинейная оптика.	7	8	2	2	4	
9.	Потенциалы взаимодействия атомных частиц. Мультипольное и обменное, короткодействующее и далекодействующее взаимодействия.	8	8	2	2	4	
10.	Контрольная работа по изученным темам	9	4		2	2	
11.	Образование молекул. Ковалентная и ионная связь. Теория Гайтлера-Лондона. Расчет энергии состояний молекулы водорода. Валентность. Метод МО ЛКАО. Квантовые числа и электронные конфигурации двухатомных молекул. Электроотрицательность.	9-10	9	2	3	4	
12.	Структура многоатомных молекул. Направленность валентностей. Гибридизация. Симметрия молекул и её влияние на их свойства. Фуллерены.	9-10	5	2	1	2	
13.	Вращательные, колебательные и электронные состояния молекул. Электронные термы двухатомных молекул, их классификация по симметрии. Гетероядерные и гомоядерные молекулы. Квантовые числа.	11	8	2	2	4	
14.	Колебательные термы двухатомных и многоатомных молекул. Ангармонизм колебаний, потенциал Морзе. Электронно-колебательные спектры, принцип Франка-Кондона. Молекула как сферический, симметричный или ассиметричный волчок.	12	8	2	2	4	

	Колебательно-вращательные спектры. Спектры комбинационного рассеяния.						
15.	Усиление и поглощение света. Оптическая накачка и просветление линий. Лазеры. Пленение и диффузия излучения. Кинетические уравнения для лазерной генерации. Суперлюминесценция и сверхизлучение.	13	8	2	2	4	
16.	Движение атомов в резонансных световых полях. Давление света на атомы, светоиндуцированный дрейф в газе и ток в плазме. Оптогальванический эффект.	14	6	2	2	2	
17.	Контрольная работа по изученным темам	15	4		2	2	
18.	Обменные процессы при столкновениях: рекомбинация, передача возбуждения, перезарядка. Распространение быстрых заряженных частиц через вещество. Ионизационные и радиационные потери. Излучение Вавилова-Черенкова. Особенности распространения $\gamma$ -квантов в веществе. Фотоэффект, комптон-эффект. Образование электрон-позитронных пар. Основы дозиметрии.	15-16	8	4	2	2	
19.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
20.	Консультации перед экзаменом						4
21.	Экзамен	17	6				2
<b>Всего</b>			<b>144</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>52</b>	<b>24</b>

### Программа практических занятий (36 часов)

В программе практических занятий указаны основная тема и конкретные вопросы.

#### 1. Классические и квантовые модели атома (2 часа).

Модель Томсона. Планетарная модель Резерфорда. Атом Бора. Атом водорода (квантовая теория). Схема решения уравнения Шредингера. Квантовые числа. Кулоновское (случайное) вырождение. Атомные орбитали. Спектр атома водорода: правила отбора, тонкая и сверхтонкая структура.

#### 2. Водородоподобные атомные состояния. Закон Мозли. Рентгеновские спектры (2 часа).

Атомы щелочных металлов. Поправка Ридберга. Снятие случайного вырождения. Серийные закономерности. Дублетное расщепление. Закон Мозли. Рентгеновские спектры. Спин электрона.

#### 3. Атом гелия (2 часа).

Приближенные методы учета межэлектронного взаимодействия: теория возмущений, вариационный метод. Принцип Паули. Кулоновский и обменный интегралы. Парагелий и ортогелий. Приближение центрально-симметричного самосогласованного поля.

#### 4. Термы многоэлектронного атома (2 часа).

Электронные оболочки и слои. Спин-орбитальное, спин-спиновое электронное и электрон-ядерное взаимодействия. Несохранение моментов. Квантовые числа  $L$ ,  $S$  и  $J$ . Приближение  $LS$ - и  $jj$ -связи. Определение энергетического состояния (термов) многоэлектронного атома внутри электронной конфигурации. Правила Хунда, определяющие относительную энергию термов. Диаграммы Гротриана. Таблица Менделеева.

#### 1-я контрольная работа по изученным темам (2 часа).

#### 5. Время жизни возбужденных состояний. Ширина линии излучения (2 часа).

Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни возбужденных состояний. Естественная ширина спектральных линий. Ударное и доплеровское уширение спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение излучательного контура.

6. Интенсивность спектральных линий. Атомная спектроскопия (2 часа).

Дипольное излучение. Матричные элементы, правила отбора. Силы осцилляторов. Интенсивность спектральных линий. Интенсивности линий тонкой структуры спектров атомов щелочных металлов. Простой и сложный эффект Зеемана. Магнитное дипольное и квадрупольное излучение, правила отбора.

7. Рассеяние света (2 часа).

Классическая и квантовая модели рассеяния. Упругое рассеяние. Резонансная флуоресценция. Комбинационное рассеяние (эффект Рамана). Нелинейная оптика. Многофотонное взаимодействие.

8. Взаимодействие атомов (2 часа).

Мультипольные моменты атомов. Поляризаационное и ван-дер-Ваальсовское (дальнодействующее) взаимодействие. Обменное (короткодействующее) взаимодействие. Взаимодействие атомов при столкновениях. Схема решения уравнения Шредингера для иона водорода.

2-я контрольная работа по изученным темам (2 часа).

9. Химическая связь. Метод молекулярных орбиталей. Гибридизация (4 часа).

Валентность. Метод МО ЛКАО. Молекулярные орбитали. Ковалентная и ионная связи. Электронные конфигурации двухатомных молекул. Корреляционные диаграммы. Гибридизация. Образование молекул. Метод линейной комбинации атомных орбиталей. Молекула водорода.

10. Электронные термы двухатомных молекул (2 часа).

Симметрия двухатомных молекул. Построение молекулярных электронных термов из исходных атомных. Квантовые числа. Вырождение энергетических уровней двухатомных молекул.

11. Колебательная и вращательная структура уровней энергии молекул. Молекулярные спектры (2 часа).

Разделение энергии молекулы на электронную, колебательную и вращательную. Вращательные и колебательные уровни энергии двухатомных молекул. Диссоциация. Ангармонизм колебаний двухатомных молекул, потенциал Морзе. Спектры инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния, правила отбора в спектрах. Вращательные уровни молекул двух типов: симметричных и несимметричных волчков. Молекулярные термы двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона.

12. Лазерная физика (2 часа).

Излучение в резонаторе. Усиление и поглощение света. Инверсия населенностей. Кинетические уравнения для лазерной генерации. Коэффициент усиления активной среды. Порог генерации. Оптимизация коэффициента отражения зеркал.

13. Движение атомов в резонансных световых полях (2 часа).

Давление света на атомы, светоиндуцированный дрейф в газе и ток в плазме. Оптогальванический эффект.

3-я контрольная работа по изученным темам (2 часа).

14. Обменные процессы при столкновениях (1 час).



Упругое рассеяние, ионизация, возбуждение. Передача возбуждения, перезарядка, рекомбинация, прилипание.

#### 15. Основы дозиметрии (1 час).

Ионизационные и радиационные потери. Особенности распространения  $\gamma$ -квантов в веществе. Дозиметрия.

### Самостоятельная работа студентов (70 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	46
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	0
Подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

1. Бурмасов В.С., Оришич А.М. Физика и химия атомов и молекул. Учеб. пос. Новосибирск. НГУ, 2006. (58 экз.)
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: [в 10 т.]. Москва: Наука, 19 -.; 22 см. Т.3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Изд. 4-е, испр. Москва: Наука, 1989. 767 с.: ил. (242 экз.)
3. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика: [учеб. пособие для физ. спец. ун-тов: в 10 т.] Т.4: Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1989. (43 экз.)
4. Чичинин А.И. Атомная и молекулярная спектроскопия / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. – 880 с. (60 экз.)
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие для студентов физических специальностей высших учебных заведений: [в 5 т.]. Москва: Физматлит: Изд-во МФТИ, Т.5: Атомная и ядерная физика. 2-е изд., стер. 2002. 782 с. (47 экз.)

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

6. Иванов К. Л., Маслов Н. А., Цибульская Е. О., Карташов И. А., Лукзен Н. Н., Дубов Д. Ю., Горбунов О. А. Физика и химия атомов и молекул в задачах с решениями: учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. – 172 с.
7. Иродов И.Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике: [для физ. спец. вузов]. – 7-е изд., перераб. и доп. – М., Энергоатомиздат, 1984. 215 с.
8. Бейзер А. Основные представления современной физики. М., Атомиздат, 1973. 548 с.
9. Ельяшевич А.М. Атомная и молекулярная спектроскопия. М., Эдиториал УРСС, 2001. 894 с.
10. Стась Д.В., Плюснин В.Ф. Квантовая механика молекул. Т. I. Н., НГУ, 2008. 198 с.
11. Стась Д.В., Плюснин В.Ф. Квантовая механика молекул. Т. II. Н., НГУ, 2013. 186 с.
12. Дьюар М. Теория молекулярных орбиталей в органической химии. М., Мир, 1972.
13. Лоудон Р. Квантовая теория света. Пер с англ. Колоколова А.А. под ред. Скроцкого Г.В. М., Мир, 1976, 488 с.
14. Звелто О. Принципы лазеров. Пер. с англ. Е.В. Сорокина [и др.] под ред. Т.А. Шмаонова, 3-е изд., М., Мир, 1990. 558 с.

15. Галицкий В.М., Никитин Е. Е., Смирнов Б. М. Теория столкновений атомных частиц. М. Наука, 1981.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

1. Информационная система «Электронная структура атомов» – <http://grotrian.nsu.ru/ru>

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется на практических занятиях преподавателем при устном разборе задач для практических занятий студентом, обсуждаются идеи и способы решения этих задач. Задачи для подготовки студенту назначаются преподавателем заранее из

списка задач для практических занятий, из расчета не менее четырех задач на каждого студента за семестр. Преподаватель оценивает качество и полноту представленного студентом решения. В течение семестра проводятся три контрольные работы. Результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

#### **Промежуточная аттестация.**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в период промежуточной аттестации по билетам в устной форме. Билет состоит из двух вопросов – одного теоретического вопроса и одной задачи. Если студентом в течение семестра разобрано и сдано менее четырех задач из списка задач для практических занятий или решено менее  $\frac{1}{3}$  от полного числа задач, предложенных на контрольных работах, то студент получает одну дополнительную задачу сверх заданий билета. Повторное прохождение промежуточной аттестации (1-я и 2-я пересдачи) проходит в том же порядке.

Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

«отлично» – дан развернутый ответ на теоретический вопрос билета, правильно решены задачи, даны развернутые правильные ответы на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины;

«хорошо» – дан правильный ответ на теоретический вопрос билета (с небольшими погрешностями), правильно решены задачи, даны правильные ответы на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины;

«удовлетворительно» – допущены неточности при ответе на теоретический вопрос билета, задачи решены с небольшими погрешностями, даны правильные ответы на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины;

«неудовлетворительно» – не дан ответ на теоретический вопрос билета, задачи не решены.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

**Таблица 10.1**

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ОПК-1.1.</b> Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.	<b>Знать</b> строение атомов: свойства атома водорода, свойства многоэлектронных атомов, квантовые числа, термы атомов, приближение <i>ls</i> - и <i>jj</i> - связей, правила Хунда, спектральные свойства атомов, правила отбора; строение молекул: валентность, химическая связь, гибридизация, колебательные и вращательные движения, молекулярные спектры, правила отбора; основы взаимодействия атомов и молекул с излучением и	Проверка задач для практических занятий, проведение контрольных работ, экзамен.

	заряженными частицами: особенности излучения, поглощения и рассеяния света, рассеяния частиц атомами, молекулами, веществом.	
<b>ОПК -1.2.</b> Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.	<b>Уметь</b> решать типовые учебные задачи по основным разделам химии, связанным с образованием химических связей, молекулярными орбиталями, корреляционными диаграммами, гибридизацией; решать типовые учебные задачи на классические и квантовые модели атома, атомные спектры, взаимодействие атомов, описание структуры молекул, молекулярные спектры, процессы излучения, поглощения и рассеяния света атомами и молекулами, в том числе в сплошной среде, атомы и молекулы во внешних электрических и магнитных полях.	Проверка задач для практических занятий, проведение контрольных работ, экзамен.
<b>ОПК -1.3</b> Работает с учебной литературой в области физики и смежных с ней областях, необходимых в профессиональной деятельности.	<b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с литературой, требующей знания основной терминологии и понятийного аппарата химии; навыками использования теоретических основ химии при решении смежных физических задач; навыками самостоятельной работы с литературой из различных областей физики, связанной с атомно-молекулярными процессами; навыками использования теоретических основ различных областей физики при решении конкретных физических задач, связанных с атомно-молекулярными процессами; навыками использования теоретических основ различных областей физики при решении конкретных физических задач, связанных с атомно-молекулярными процессами.	Проверка задач для практических занятий, проведение контрольных работ, экзамен.

**10.2. Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика и химия атомов и молекул».**

**Таблица 10.2**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения)	Критерии оценивания результатов	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)

заданного уровня освоения компетенций)	обучения				
1	2	3	4	5	6
ОПК 1.1	Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
ОПК 1.2	Наличие умений	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
ОПК 1.3	Наличие навыков (владение опытом)	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные, задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Задачи для практических занятий

##### 1. Классические и квантовые модели атома

1. Согласно модели Томсона, найти радиус атома водорода и длину волны испускаемого им света, если его энергия ионизации равна 13,6 эВ.
2. Найти вероятность того, что  $\alpha$ -частица с энергией 3 МэВ при прохождении свинцовой фольги толщиной 1,5 мкм испытает рассеяние в интервале углов 59-61°.
3. Оценить время, за которое электрон, движущийся вокруг ядра водорода по орбите радиусом 0,5 А, упал бы на ядро, если бы он терял энергию на излучение в соответствии с классической теорией.
4. Частица массой  $m$  движется по круговой орбите в поле  $U = \frac{1}{2}\chi r^2$ . Найти с помощью боровского условия квантования разрешенные уровни энергии и соответствующие радиусы орбит.
5. Пренебрегая спин-орбитальным взаимодействием для атомарного водорода вычислить: а) в каких пределах должна лежать энергия бомбардирующих электронов, чтобы спектр излучения атома имел только три линии, указать их длины волн; б) минималь-

ную разрешающую способность спектрометра  $\lambda/\delta\lambda$ , при которой можно разрешить первые 20 линий серии Бальмера.

6. Вычислить для мезоатома водорода (масса мезона составляет 207 масс электрона): а) эффективный радиус Бора; б) постоянную Ридберга и длину волны резонансной линии; в) энергии связи основных состояний, когда ядром является протон или дейтрон; сравнить изотопический сдвиг со сдвигом в атоме водорода.
7. Для атомарного водорода построить схему возможных переходов для головной линии серии Бальмера с учетом тонкой структуры. Определить интервал (в  $\text{см}^{-1}$ ) между крайними компонентами.
8. Найти длину волны излучения межзвездного атомарного водорода в радиодиапазоне. Межзвездный водород находится в основном электронном состоянии, и его излучение обусловлено переориентацией спина электрона.
9. Оценить (в электронвольтах) расщепление  $2p$ -состояния позитрония, вызванное взаимодействием спиновых магнитных моментов позитрона и электрона.

## 2. Водородоподобные атомные состояния. Закон Мозли. Рентгеновские спектры.

1. Найти константу  $C_1$  дипольной составляющей потенциала атомного остова атома рубидия, если известно, что квантовый дефект  $\Delta = 1,3$  при  $l = 2$ .
2. Определить по спектру излучения поправку Ридберга (квантовый дефект) для уровня  $5s$  атома Na и постоянную  $C_1$ , характеризующую величину дипольного момента.
3. Головная линия резкой серии цезия является дублетом с длинами волн 1469,5 нм и 1358,8 нм. Найти интервалы (в  $\text{см}^{-1}$ ) между компонентами следующих линий этой серии.
4. При какой индукции магнитного поля интервал между зеемановскими компонентами термов  $3p^2P_{1/2}$  и  $3p^2P_{3/2}$  атома Na будет равен 0,1 тонкого расщепления  $3p^2P$ -состояния, если длины волн желтого дублета натрия равны  $\lambda_1 = 589,593$  нм и  $\lambda_2 = 588,996$  нм.
5. Термы атомов и ионов с одним валентным электроном можно представить в виде  $T = R(Z - a)^2 n^{-2}$ , где  $R$  – постоянная Ридберга,  $Z$  – заряд ядра (в  $e$ );  $a$  – поправка экранирования,  $n$  – главное квантовое число. Вычислить,  $a$  и  $n$  валентного электрона атома лития, если известно, что ионизационные потенциалы Li и  $\text{Be}^+$  равны соответственно 5,39 эВ и 17,0 эВ, и поправка  $a$  для них одинакова.
6. Определить поправки экранирования Мозли для  $K_\alpha$ -линий атомов Fe, Co, Sn, Cs и W, длины волн которых равны соответственно 1,935 Å, 1,787 Å, 0,492 Å, 0,402 Å, 0,210 Å.
7. Найти кинетическую энергию электронов, вырываемых с K-оболочки атомов молибдена  $K_\alpha$ -излучением серебра.

## 3 Атом гелия

1. Найти поправку к энергии для основного состояния гелиеподобного иона в первом порядке теории возмущений.
2. На основе вариационного метода определить потенциал ионизации атома гелия и иона лития, выбрав в качестве невозмущенных водородоподобные функции с эффективным зарядом.
3. Воспользовавшись теорией возмущений, определить минимальную полную электронную энергию ортогелия. Ограничиться рассмотрением волновых функций водородоподобных состояний  $1s$  и  $2s$ . Чему в рамках рассматриваемого приближения равна энергия возбуждения из основного состояния парагелия в ортогелий?

## 4. Термы многоэлектронного атома

1. Найти термы атомов, незаполненная электронная подоболочка которого –  $np^3$ .
2. Выписать возможные типы термов для электронной конфигурации  $np^1 n' p^2$ . То же для  $ns^1 n' d^2$ .

3. Определить число электронов в единственной незаполненной подоболочке атома, основной терм которого:  ${}^3F_2$ ;  ${}^6S_{5/2}$ .
4. Определить спин ядра  ${}^{59}\text{Co}$ , основной терм атома которого содержит восемь компонент сверхтонкого расщепления.

### 5. Время жизни возбужденных состояний. Ширина линии излучения

1. Объем газообразного лития, содержащий  $N = 3,0 \cdot 10^{16}$  атомов при  $T = 1500$  К, излучает резонансную линию ( $\lambda = 670,8$  нм;  $2p \rightarrow 2s$ ) мощностью  $I = 0,25$  Вт. Найти среднее время жизни  $L_i$  в  $2p$ -состоянии.
2. Атомарный водород находится в термодинамическом равновесии со своим излучением. Вычислить: а) отношение вероятностей индуцированного и спонтанного излучений атомов с уровня  $2p$  при  $T = 3000$  К; б) температуру, при которой эти вероятности одинаковы.
3. Спектральная линия  $\lambda = 532,0$  нм возникает в результате перехода между двумя возбужденными состояниями атома, средние времена жизни которых равны 12 нс и 20 нс. Оценить естественную ширину этой линии.
4. Определить давление газа, находящегося при  $T = 1000$  К, при котором ударное уширение спектральной линии  $\lambda = 570$  нм окажется равным доплеровской ширине. Газокинетический диаметр атомов  $5 \cdot 10^{-8}$  см.

### 6. Интенсивность спектральных линий. Атомная спектроскопия

1. Найти характер углового распределения интенсивности излучения при переходе между уровнями  $2p$  ( $m_l = 0$ ) и  $1s$  в атоме водорода. То же для  $m_l = \pm 1$ .
2. Найти отношение интенсивностей зеемановских  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент для перехода  $1s2p {}^1P \rightarrow 1s^2 {}^1S$  в атоме гелия. Какова их поляризация?
3. В атоме Na для перехода  $3p {}^2P_{3/2} \rightarrow 3s {}^2S_{1/2}$  с длиной волны 589,0 нм сила осциллятора равна  $-0,32$ . Вычислить время жизни уровня  $3p {}^2P_{3/2}$ .
4. Найти соотношение сил осцилляторов для переходов между компонентами тонкой структуры атомов щелочных металлов. *Примечание:* воспользоваться соотношениями между интенсивностями соответствующих линий.
5. В спектре иона  $\text{C}^+$  переходы из первой возбужденной электронной конфигурации  $2s2p^2$  в основную образуют следующие мультиплетные линии:  $\lambda_1 = 90,4$  нм – квартет,  $\lambda_2 = 103,7$  нм – дублет,  $\lambda_3 = 133,5$  нм – триплет, а также квинтетную линию на длине волны  $\lambda_4 = 232$  нм, интенсивность которой на несколько порядков меньше. Между какими термами в приближении  $LS$ -связи происходят данные переходы? Найти величину естественного уширения наиболее широкой компоненты триплета, если для двух других оно равно 0,45 фм и 2,28 фм соответственно.
6. Какой эффект Зеемана (простой, сложный) будет наблюдаться в слабом магнитном поле для переходов:  ${}^2P \rightarrow {}^2S$ ,  ${}^1D \rightarrow {}^1P$ ,  ${}^2D_{5/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ ,  ${}^5F_1 \rightarrow {}^5D_0$ ,  ${}^5I_5 \rightarrow {}^5H_4$ ?
7. Найти вероятность перехода между компонентами сверхтонкой структуры атома водорода для уровня  $1s {}^2S_{1/2}$ .
8. В спектре северного сияния присутствует желто-зеленая линия на 557,7 нм и красный дублет с длинами волн 630,0 нм и 636,4 нм, возникающие при переходах внутри основной электронной конфигурации атомарного кислорода. Между какими термами происходят данные переходы и каков их тип?

### 7. Рассеяние света

1. В классическом приближении найти дифференциальное сечение рассеяния линейно поляризованной плоской монохроматической волны на атоме водорода в модели Томсона, считая, что длина волны много больше размера атома.

2. Вычислить сечение рассеяния фотона малой частоты на атоме водорода в основном состоянии.
3. Водород при температуре 1500 К и давлении 1 атм облучается излучением одинаковой интенсивности на двух длинах волн: головной линии серии Бальмера и 656,3 нм. Найти отношение интенсивностей рассеянных сигналов.
4. На какой длине волны может наблюдаться сигнал комбинационного рассеяния излучения аргонового лазера с длиной волны 488 нм на атомарном фторе? Длина волны резонансной линии фтора равна 95 нм, величина тонкого расщепления основного терма –  $404 \text{ см}^{-1}$ . Оценить мощность рассеянного света, если в кювете размерами  $1 \times 1 \times 1 \text{ см}$  концентрация атомов фтора равна  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ , мощность излучения лазера – 1 Вт, а дифференциальное сечение комбинационного рассеяния для линейно поляризованной волны равно  $2,9 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$ .

#### 8. Взаимодействие атомов

1. Выразить квадрупольный момент электрона с орбитальным моментом  $l$  через средний квадрат его расстояния до центра.
2. Определить дальнедействующую часть потенциала взаимодействия иона с атомом.
3. Найти потенциал дальнедействующего взаимодействия двух атомов, если орбитальный момент одного из них равен нулю.
4. Вычислить сечение захвата иона одного газа атомом другого газа вследствие поляризационного взаимодействия.
5. Определить электронные термы молекулярного иона  $\text{H}_2^+$ , получающегося при соединении атома Н в нормальном состоянии с ионом  $\text{H}^+$ , при расстояниях между ядрами, превышающих боровский радиус.

#### 9. Химическая связь. Метод молекулярных орбиталей. Гибридизация

1. Определить валентность атома I в основном состоянии, атома кислорода в состоянии  $2p^2 3s^1 p^1$ . Какова валентность азота в азотной кислоте?
2. Построить молекулярные орбитали для молекул  $\text{F}_2$ ,  $\text{F}_2^+$ , и  $\text{F}_2^-$  и определить в каждом случае число получающихся связей. Записать выражение для соответствующих внешних электронных конфигураций. Какие из ионов имеют наивысшую и наименьшую энергии связи?
3. Построить молекулярные орбитали и записать выражения для внешней электронной конфигурации молекулы СО и молекулярного иона  $\text{CO}^+$ . Сколько связей имеется в каждом случае, какова их природа? Энергия связи какой молекулы сильнее? То же для молекулы NO и иона  $\text{NO}^+$ .
4. Построить корреляционные диаграммы для молекул  $\text{V}_2$  и  $\text{VN}$ .
5. Нарисовать конфигурацию электронных облаков углекислого газа и воды. Определить степень гибридизации.

#### 10. Электронные термы двухатомных молекул

1. Произвести разделение переменных в уравнении Шредингера для электронных термов иона молекулярного водорода, воспользовавшись эллиптическими координатами.
2. Записать обозначения возможных электронных термов молекул  $\text{HCl}$  и  $\text{CO}$ , которые могут получиться при соединении атомов в основных состояниях.
3. Записать обозначения возможных электронных термов молекул  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ , которые могут получиться при соединении атомов в основных состояниях.
4. Какие электронные термы молекулы водорода могут получиться при соединении атома водорода в основном состоянии с таким же атомом, но находящимся в первом возбужденном  $s$ -состоянии?

#### 11. Колебательная и вращательная структура уровней энергии молекул. Молекулярные спектры



1. Определить наиболее вероятную угловую скорость вращения молекулы кислорода при  $T = 300$  К. Межъядерное расстояние равно  $1,21 \cdot 10^{-8}$  см.
2. Соответствующая переходу  $J = 0 \rightarrow J = 1$  линия поглощения вращательного спектра наблюдается у  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  при  $1,153 \cdot 10^{11}$  Гц и при  $1,102 \cdot 10^{11}$  Гц у молекулы  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ . Найти массовое число изотопа углерода.
3. Найти момент инерции молекулы  $\text{CH}$  и расстояние между ее ядрами, если интервалы между соседними линиями её чисто вращательного спектра равны  $\Delta\nu = 29,0$   $\text{см}^{-1}$ .
4. Ближайшие сателлиты спектра комбинационного рассеяния излучения с  $\lambda = 546,1$  нм на молекулярном азоте отстоят на  $\Delta\lambda = 0,72$  нм. Найти вращательную постоянную  $B$  в  $\text{см}^{-1}$  и момент инерции молекулы  $\text{N}_2$ .
5. Предположите, что молекула водорода ведет себя в точности как гармонический осциллятор с коэффициентом жесткости  $516$   $\text{Н} \cdot \text{м}^{-1}$ . Вычислите колебательное квантовое число, соответствующее энергии диссоциации молекулы  $4,5$  эВ. Определите разность энергий диссоциации молекул  $\text{D}_2$  и  $\text{H}_2$ .
6. Определить максимально возможное колебательное квантовое число, соответствующую колебательную энергию и энергию диссоциации двухатомной молекулы, собственная частота которой  $\omega$  и коэффициент ангармоничности  $\chi$ . Вычислить эти величины для молекулы  $\text{HF}$  (равновесная частота колебаний  $\nu_e = 4138,39$   $\text{см}^{-1}$ , ангармонизм  $\chi\nu_e = 89,94$   $\text{см}^{-1}$ ).
7. Найти отношение интенсивностей фиолетового и красного спутников, ближайших к несмещенной линии, в спектре комбинационного рассеяния света на молекулах  $\text{Cl}_2$  при  $T = 300$  К. Во сколько раз изменится это соотношение при увеличении температуры вдвое? Частота колебания молекулы  $\nu_e = 559,7$   $\text{см}^{-1}$ , коэффициент ангармоничности  $\chi\nu_e = 2,67$   $\text{см}^{-1}$ .

## 12. Лазерная физика

1. Атом  $\text{Na}$  находится в резонаторе Фабри-Перо цилиндрической формы с эффективным диаметром  $2$  мм и длиной  $25$  мм, отъюстированного в точном резонансе с атомным переходом  $23s \rightarrow 22p$ . Найти эффективную вероятность перехода между этими состояниями, если вне резонатора она равна  $150$   $\text{с}^{-1}$ , длина волны перехода –  $0,88$  мм, добротность резонатора соответствует  $10^6$ . Как изменится ответ, если отстройка частоты резонатора от частоты атомного перехода составит половину величины его области свободной дисперсии?
2. Найти отношение заселенности вышележащего  $^1D_2$  и нижележащего  $^1P_1$  уровней атомов газа, при котором пучок монохроматического излучения с частотой, равной частоте перехода между этими уровнями, будет проходить через газ, не ослабляясь. Как связаны между собой разность заселенностей, сечение вынужденного излучения и коэффициент усиления?
3. Определить пороговый коэффициент усиления для аргонового лазера при длине резонатора  $50$  см, коэффициентах отражения зеркал –  $100\%$  и  $80\%$ , и величине распределенных потерь  $0,027$   $\text{м}^{-1}$ . Чему равна генерируемая интенсивность в непрерывном режиме и выходная интенсивность, если для заданного уровня накачки коэффициент усиления вдвое превышает пороговое значение? Лазер излучает на длине волны  $488$  нм, сечение вынужденного излучения для лазерного перехода –  $2,5 \cdot 10^{-16}$   $\text{м}^2$ , время жизни верхнего рабочего уровня –  $1,0 \cdot 10^{-8}$  с.
4. Определить оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала лазера с резонатором Фабри-Перо в режиме малого сигнала для однородно уширенного спектрального профиля (коэффициент отражения второго зеркала взять за  $100\%$ ). Вычислить это значение для  $\text{He-Ne}$  лазера, если длина резонатора равна  $20$  см, коэффициент усиления слабого сигнала –  $0,2$   $\text{м}^{-1}$ , а распределенные потери за один проход составляют  $0,5\%$ .

## 13. Движение атомов в резонансных световых полях

1. Определить скорость, которую приобрел покоящийся атом водорода в результате излучения фотона при переходе из первого возбужденного состояния в основное. На сколько процентов отличается энергия испущенного фотона от энергии данного перехода?

#### 14. Обменные процессы при столкновениях

1. Определить сечение резонансной перезарядки высоковозбужденного атома на ионе в пределе малых скоростей столкновения.
2. Определить сечение передачи возбуждения от дипольной молекулы (возбужден первый колебательный уровень) к такой же молекуле в основном состоянии.
3. Найти связь между сечением фотораспада атома и сечением фотоприлипания к нему.

#### 15. Основы дозиметрии

1. Ионизационная камера, наполненная воздухом ( $V = 5$  л,  $p = 250$  кПа,  $T = 300$  К), помещена в однородное поле  $\gamma$ -излучения. Ток насыщения  $I = 0,32$  мкА. Определить мощность экспозиционной дозы.
2. Найти в воздухе и воде в точках, где плотность потока  $\gamma$ -фотонов с энергией  $E = 2,00$  МэВ составляет  $J = 1,30 \cdot 10^4$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>, мощности поглощенной и экспозиционной доз.
3. На поверхности кожи площадью  $S = 2,0$  см<sup>2</sup> падает нормально  $N = 3,2 \cdot 10^4$   $\alpha$ -частиц с  $E = 5,1$  МэВ. Найти средние значения поглощенной и эквивалентной доз в мГр и мЗв в слое, равном глубине проникновения  $\alpha$ -частиц в биологическую ткань. *Справка:* пробег  $\alpha$ -частиц в биологической ткани в 815 раз меньше пробега в воздухе; коэффициент качества для указанных  $\alpha$ -частиц  $K = 20$ .

#### Примерный образец контрольной работы №1

1. Найти энергию фотона при переходе  $n = 2 \rightarrow n = 1$  в мезоатоме с массой 140 а.е.м. и зарядом ядра  $Z = 60$
2. Для элементов конца периодической системы поправка в законе Мозли значительно отличается от единицы. Убедиться в этом на примере олова, цезия и вольфрама, длины волн  $K_\alpha$ -линий которых равны соответственно 49,2, 40,2, 21,0 пм.
3. Электронная конфигурация атома железа  $3d^6 4s^2$ . В приближении  $LS$ -связи найдите все порождаемые ею термы и укажите терм основного состояния. Из эксперимента известно, что для иона  $Fe^+$  основным термом является  ${}^6D_{9/2}$ . Какой из валентных электронов атома железа ( $d$  или  $s$ ) удаляется при такой ионизации?
4. Пользуясь правилами Хунда, определить значения  $L, S, J$  основного состояния атома урана.

#### Примерный образец контрольной работы №2

1. С какой минимальной скоростью должен двигаться атом водорода, чтобы в результате неупругого лобового соударения с другим, покоящимся атомом водорода, один из них испустил фотон?
2. Разреженные пары ртути, атомы которой находятся в основном состоянии, освещают резонансной линией ртутной лампы ( $\lambda = 254$  нм). Обнаружено, что при этом мощность испускания этой линии парами ртути равна  $I = 35$  мВт. Найти число атомов в состоянии резонансного возбуждения, среднее время жизни которого  $\tau = 0,15$  мкс.
3. Определить время жизни  $3p$  состояния иона  $He^+$ . Тонкой структурой уровней пренебречь.
4. При переходе атома Na из возбужденного в основное состояние линия расщепилась в магнитном поле на шесть компонент. Определить терм возбужденного состояния.

### Примерный образец контрольной работы №3

1. Определить нормальный терм молекулы KCl, образовавшейся в результате соединения атомов в нормальных состояниях.
2. Во вращательном спектре поглощения молекулы  $\text{H}^{35}\text{Cl}$  ( $B \approx 10,56 \text{ см}^{-1}$ ) линии, регистрируемые при  $106 \text{ см}^{-1}$  и при  $233,2 \text{ см}^{-1}$ , имеют одинаковую интенсивность. Считая вероятности переходов равными, определить температуру газа.
3. Оценить наиболее вероятную угловую скорость вращения молекулы CO при  $T = 300 \text{ К}$ , если расстояние между атомами  $0,113 \text{ нм}$ .
4. Найти значение температуры, при которой средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул  $\text{N}_2$  равна их вращательной энергии в состоянии с квантовым числом  $J = 1$ .

### Образец билета на экзамене:

1. Связь между моментами. Возмущения в сериях. Последовательность заполнения электронных оболочек. Периодическая таблица.
2. При какой температуре доплеровское уширение каждой компоненты дублета спектральной линии  $2^2P - 1^2S$  атомарного водорода равно интервалу между этими компонентами?

### Вопросы к экзамену:

1. Атомы и ионы с одним электроном. Спектр атомарного водорода. Спектральные серии, их тонкая и сверхтонкая структура.
2. Уровни энергии атомов щелочных металлов. Их одноэлектронные спектры и тонкая структура.
3. Атомы и ионы с двумя электронами. Обменное взаимодействие. Спектр атома гелия.
4. Многоэлектронные атомы. Приближенные методы расчета энергии атомов со многими электронами. Электронные конфигурации.
5. Электронные оболочки. Связь между моментами. Последовательность заполнения электронных оболочек. Периодическая таблица.
6. Термы и спектры многоэлектронных атомов.
7. Рентгеновские спектры атомов.
8. Время жизни электронно-возбужденных состояний атомов. Естественное уширение спектральных линий.
9. Уширение спектральных линий: естественное, столкновительное и доплеровское. Эффект Дике сужения линий.
10. Правила отбора для одноэлектронных переходов. Интенсивность спектральных линий. Силы осцилляторов.
11. Интенсивности линий тонкой структуры спектров атомов щелочных металлов.
12. Рассеяние света на атомах. Упругое рассеяние.
13. Рассеяние света на атомах. Резонансная флуоресценция.
14. Рассеяние света на атомах. Комбинационное рассеяние. Двухфотонное и многофотонное взаимодействие.
15. Короткодействующие и дальнедействующие потенциалы взаимодействия атомных частиц.
16. Образование молекул. Ковалентная и ионная связь. Теория Гайтлера-Лондона. Расчет энергии состояний молекулы водорода. Валентность.

17. Образование молекул. Ковалентная и ионная связь. Молекулярные орбитали, метод МО ЛКАО. Расчет энергии состояний молекулы водорода. Квантовые числа и электронные конфигурации двухатомных молекул. Электроотрицательность.
18. Образование молекул. Расчет энергии состояний молекулы водорода методом МО ЛКАО, формы молекулярных орбиталей. Квантовые числа и электронные конфигурации двухатомных молекул.
19. Структура многоатомных молекул. Направленность валентностей. Гибридизация. Симметрия молекул и её влияние на их свойства.
20. Вращательные, колебательные и электронные состояния молекул. Электронные термы двухатомных молекул, их классификация по симметрии.
21. Вращательные, колебательные и электронные состояния молекул. Колебательные термы двухатомной молекулы и многоатомных молекул. Электронно-колебательные спектры, принцип Франка-Кондона. Колебательно-вращательные спектры, спектры комбинационного рассеяния.
22. Вращательные, колебательные и электронные состояния молекул. Молекула, как сферический, симметричный или ассиметричный волчок. Колебательно-вращательные спектры, спектры комбинационного рассеяния.
23. Усиление и поглощение света. Оптическая накачка и просветление линий. Пленение и диффузия излучения. Суперлюменисценция и сверхизлучение.
24. Усиление света. Лазеры. Порог лазерной генерации, непрерывный и импульсный режимы.
25. Движение атомов в резонансных световых полях. Давление света на атомы.
26. Светоиндуцированный дрейф в газе и ток в плазме.
27. Обменные процессы при столкновениях.
28. Распространение быстрых заряженных частиц и  $\gamma$ -квантов через вещество. Дозиметрия.

### Примерные задачи к экзамену.

1. Выписать спектральные обозначения термов электрона в атоме водорода для  $n = 3$ . Сколько компонент тонкой структуры имеет уровень атома водорода с главным квантовым числом  $n$ .
2. Длина волны резонансной линии ртути  $\lambda = 253,65$  нм. Среднее время жизни соответствующего резонансного уровня  $\tau = 0,15$  мкс. Оценить отношение доплеровского уширения этой линии при  $T = 300$  К к ее естественной ширине.
3. Выписать возможные термы атомов, содержащих кроме заполненных оболочек два электрона,  $p$  и  $d$ .

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Физика и химия атомов и молекул»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного