

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**

**Институт технологий и инженерной механики
Кафедра физики**

УТВЕРЖДАЮ
Директор института технологий и
инженерной механики
Могильная Е.П.
« 18 » 07 2023 г.

ной

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ»**

По направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль подготовки «Физика»

Луганск 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика атома и атомных явлений» по направлению подготовки 03.03.02 Физика. – 22 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика атома и атомных явлений» составлена с учетом Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» августа 2020 года №891.

СОСТАВИТЕЛЬ:

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики
Харченко Е.И.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена на заседании кафедры физики
«18» 04 2023г., протокол № 9

Заведующий кафедрой физики  Корсунов К.А.

Переутверждена: « » 20 г., протокол №

Директор института технологий и инженерной механики  Могильная Е.П.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики

«18» 04 2023г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической комиссии
института технологий и инженерной механики  Ясуник С.Н.

© Харченко Е.И., 2023 год

© ФГБОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика атома и атомных явлений» по направлению подготовки 03.03.02 Физика. – 22 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика атома и атомных явлений» составлена с учетом Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» августа 2020 года №891.

СОСТАВИТЕЛЬ:

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики
Харченко Е.И.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена на заседании кафедры физики
«___» _____ 20__ г., протокол № ____

Заведующий кафедрой физики _____ Корсунов К.А.

Переутверждена: «___» _____ 20__ г., протокол № ____

Директор института технологий и инженерной механики _____ Могильная Е.П.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики
«___» _____ 20__ г., протокол № ____.

Председатель учебно-методической комиссии
института технологий и инженерной механики _____ Ясунник С.Н.

© Харченко Е.И., 2023 год
© ФГБОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины «Физика атома и атомных явлений» – формирование у студентов фундаментальных теоретических знаний и практических навыков в области атомной физики для грамотного научного анализа ситуаций, а именно:

ознакомление студентов с основными процессами и явлениями атомарного уровня;

привитие квантово-механическое мышления;

привитие навыков работы с оборудованием и выработка способности решения задач атомной физики.

Задачи изучения дисциплины:

овладение основными физическими понятиями и законами, действующими в микромире, получение представлений о моделях и методах научных исследований;

формированию у студентов ясного представления о физической картине мира как основе целостности и многообразия природы;

приобретение навыков в решении задач для выработки самостоятельного мышления;

приобретение практических навыков работы с приборами и оборудованием.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Физика атома и атомных явлений» дисциплина входит в модуль естественных дисциплин обязательной части учебного плана подготовки студентов по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: «Механика», «Электричество и магнетизм», «Электродинамика» и служит основой для освоения дисциплин «Физика ядра и частиц», «Квантовая теория», «Физика плазмы».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических и (или) естественных наук ОПК-1.2. Применяет базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук для решения задач профессиональной деятельности	Знать: основные физические явления и основные законы атомной физики; границы их применимости; основные физические величины и физические константы, их определение, смысл, единицы измерения; концептуальные проблемы квантовой механики, связанные с измерением физических величин Уметь: истолковать смысл физических величин и понятий; формулировать основные положения атомной физики; использовать математический аппарат; наряду с единицами измерения системы СИ пользоваться единицами

		измерения физических величин, принятыми в атомной физике; использовать различные методики проведения физических измерений и обработки экспериментальных данных; формулировать выводы по результатам физических экспериментов; Владеть: навыками квантовомеханического расчета атома водорода, молекулы водорода, производить оценки квантовомеханических величин, применять полученные теоретические знания для описания квантового состояния микрочастиц
--	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	216 (6 зач. ед)	Не предусмотрена
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	85	-
Лекции	51	-
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия (в том числе интерактив)	34	-
Лабораторные работы	-	-
Контрольные работы (модули)	-	-
КСР	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса	-	-
Самостоятельная работа студента / форма контактной работы	95 / 36	-
Форма аттестации	экзамен	-

4.2. Содержание разделов дисциплины

5 семестр

Тема 1. Квантовый характер излучения

Тепловое излучение. Излучательная и поглощательная способность. Абсолютно чёрное тело (АЧТ). Спектр излучения АЧТ. Законы Стефана-Больцмана, смещения Вина. Формулы Релея-Джинса и Вина для спектра АЧТ. Ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка. Постоянная Планка. Формула Планка для спектра АЧТ. Формулы Релея-Джинса и Вина как предельные случаи формулы Планка. Законы Стефана-Больцмана и смещения Вина как следствия формулы Планка для спектра АЧТ. Гипотеза квантового распространения света Эйнштейна. Фотон. Опыты Боте. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна.

Применение фотоэффекта. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм света. Опыты Яноши. Опыты Тейлора. Опыты Вавилова.

Тема 2. Экспериментальные основы теории атома. Боровская теория атома.

Катодные и анодные лучи. Электрон. Определение удельного заряда электрона. Масс-спектрометры и масс-спектрографы. Модель атома Нагаоки. Модель атома Томсона. Эксперименты Ленарда. Опыты Резерфорда. Модель атома Резерфорда. Размеры атома и ядра. Заряд и масса ядра. Трудности модели Резерфорда. Формулы Резерфорда для угла рассеяния и сечения рассеяния. Спектральные закономерности излучения атомов. Формулы Бальмера. Комбинационный принцип Ритца. Постоянная Ридберга. Гипотеза Никольсона. Постулаты Бора. Теория Бора атома водорода. Спектральные серии атома водорода. Трудности теории Бора. Теория Бора-Зоммерфельда. Опыты Франка и Герца.

Тема 3. Корпускулярно-волновой дуализм.

Гипотеза Луи де-Бройля. Длина волны де-Бройля. Применение гипотезы де-Бройля к квантованию атома. Опыты Девисона-Джермера. Опыты Бибермана, Сушкина и Фабриканта. Плоская волна де-Бройля. Волновой пакет. Соотношение неопределённостей. Дифракция на щели. Микроскоп Гейзенберга. Дискуссия Бора и Эйнштейна

Тема 4. Элементы квантовой физики.

Волновая функция. Требования к волновой функции. Временное (общее) уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме. Уровни энергии и волновые функции. Принцип соответствия. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Примеры потенциальных барьеров. Средние значения физических величин. Поток плотности вероятности. Оператор импульса. Постулаты квантовой механики. Принцип суперпозиции. Операторы координаты, импульса, момента импульса, энергии. Свойства операторов. Квантовый аналог скобок Пуассона. Условие одновременной измеримости динамических переменных в квантовой теории. Гармонический осциллятор. Уровни энергии и волновые функции. Нулевая энергия. Экспериментальное доказательство существования нулевой энергии. Оценка энергии гармонического осциллятора на основе соотношения неопределённостей.

Тема 5. Водородоподобные атомы.

Уравнение Шредингера для водородоподобного атома. Радиальная часть волновой функции. Распределение плотности вероятности. Квантование энергии. Квантование момента импульса. Орбитальное квантовое число. Магнитное квантовое число. Вырождение уровней энергии в водородоподобном атоме. Главное квантовое число. Правила отбора.

Тема 6. Магнитные свойства атома.

Орбитальный магнитный момент. Магнетон Бора. Тонкая структура атомных спектров. Гипотеза Паули. Спин электрона. Гиромагнитное отношение. Опыты Штерна и Герлаха. Опыт Эйнштейна и де Гааза. Опыты Барнета. Спин-орбитальное взаимодействие. Постоянная тонкой структуры. Полный момент атома. Связь Рассела-Саундерса. $j-j$ связь. Фактор Ланде. Правила отбора.

Тема 7. Многоэлектронные атомы.

Принцип Паули. Симметричная и антисимметричная волновые функции. Фермионы и бозоны. Электронные оболочки атомов и их заполнение. Символика электронных состояний. Правило Клечковского. Вырождение энергетических уровней. Правило Хунда. Переходные элементы. Периодический закон Менделеева.

Тема 8. Оптические спектры атомов.

Взаимодействие электронов в многоэлектронных атомах. Уровни энергии и спектры атомов щелочных элементов. Квантовый дефект. Рентгеновское излучение. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Расщепление оптических линий в магнитном поле. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Эффект Штарка.

Тема 9. Молекулы.

Адиабатическое приближение. Молекула водорода. Гомеоплярная связь. Обменное взаимодействие. Структура сложных молекул. Электронная, колебательная и вращательная составляющие энергии молекулы и их квантование. Спектр двухатомной молекулы.

Тема 10. Квантовые свойства конденсированных сред.

Модели твёрдого тела. Приближение слабосвязанных электронов. Идеи Хартри-Фока. Приближение сильно связанных электронов. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Элементы зонной теории. Металлы, изоляторы, полупроводники. Энергия Ферми. Контактная разность потенциалов. Термоэлектронная эмиссия. Эффект Шотки. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Тепловое излучение	2	-
2	Квантовая природа излучения.	2	-
3	Экспериментальные доказательства квантовой природы излучения	2	-
4	Модели атома	2	-
5	Атом водорода в теории Бора	2	-
6	Волновые свойства вещества	2	-
7	Соотношение неопределенностей. Волновая функция	2	-
8	Уравнение Шредингера	3	-
9	Потенциальные барьеры	3	-
10	Основы квантовой теории	3	-
11	Атом водорода в квантовой механике.	2	-
12	Энергетические уровни и спектры щелочных металлов	2	-
13	Тонкая структура спектров атомов	2	-
14	Многоэлектронные атомы	2	-
15	Магнитные свойства атомов.	2	-
16	Тождественность микрочастиц. Принцип Паули	2	-
17	Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева	2	-
18	Рентгеновские спектры	2	-
19	Атомы во внешнем электрическом поле	2	-
20	Атомы во внешнем магнитном поле	2	-
21	Строение и свойства молекул. Молекулярные спектры	2	-

22	Вынужденное излучение. Лазеры	2	-
23	Модели твердого тела	2	-
24	Зонная теория твердых тел	2	-
Итого:		51	-

4.3. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана	2	-
2	Гипотеза Планка. Формула Планка	2	-
3	Фотоны. Давление света	2	-
4	Коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра. Фотоэффект	2	-
5	Эффект Комптона	2	-
6	Рассеяние частиц. Формула Резерфорда	2	-
7	Водородоподобные атомы	2	-
8	Волны де Бройля	2	-
9	Соотношение неопределенностей Гейзенберга	2	-
10	Уравнение Шредингера	2	-
11	Атом водорода в квантовой механике	2	-
12	Состояния электронов в атоме	2	-
13	Спектры. Интенсивность и ширина спектральных линий	2	-
14	Застройка электронных оболочек. Характеристические рентгеновские спектры	2	-
15	Магнитные свойства атомов. Атом в магнитном поле	2	-
16	Молекулы	2	-
17	Кристаллы	2	-
Итого:		34	-

4.4.Лабораторные работы по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» не предполагаются учебным планом.

4.5.Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Квантовый характер излучения	Выполнение домашнего задания	10	-
2	Экспериментальные основы теории атома. Боровская теория атома	Выполнение домашнего задания	10	-
3	Корпускулярно-волновой дуализм	Выполнение домашнего задания	10	-
4	Элементы квантовой физики	Выполнение домашнего задания	10	-
5	Водородоподобные атомы	Выполнение домашнего задания	10	-
6	Магнитные свойства атома	Выполнение домашнего задания	10	-
7	Многочастичные атомы	Выполнение домашнего задания	10	-
8	Оптические спектры атомов	Выполнение домашнего задания	10	-
9	Молекулы	Выполнение домашнего задания	7	-
10	Квантовые свойства конденсированных сред	Выполнение домашнего задания	8	-
Итого:			95	-

4.7. Курсовые работы по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» не предполагаются учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий: объяснительно-иллюстративного обучения (технология поддерживающего обучения, технология проведения учебной дискуссии), информационных технологий (презентационные материалы), развивающих и инновационных образовательных технологий.

Практические занятия проводятся с использованием развивающих, проблемных, проектных, информационных (использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект) образовательных технологий).

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Шпольский Э.В., Атомная физика. В 2-х тт. Том 1. Введение в атомную физику. Учебник. / Э.В. Шпольский, 8-е изд., стер. – СПб.: Издательство – "Лань", 2010. – 560 с.

2. Шпольский Э.В., Атомная физика. В 2-х тт. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома: Учебник / Э.В. Шпольский, 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство – "Лань", 2010. – 448 с

3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. V. Атомная и ядерная физика / Д. В Сивухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2006. – 784 с.

4. Савельев И. В. Курс общей физики: Учебное пособие. В 3 тт. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и частиц / И. В. Савельев. – 7-е, стер. – СПб.: Издательство – «Лань», 2019 – 308 с.

5. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – Издательство: Лань СПб, 2006. – 416 с.

б) дополнительная литература:

1. Сборник задач по общему курсу физики: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. – М., 1981.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. – 21-е изд., стер. – Москва: Академия, 2015. – 549 с.

3. Иродов И. Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике / И. Е. Иродов. – М., 1973.

4. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2009 г. – 640 с.

5. Кузнецов С.И. Курс физики с примерами решения задач. Часть III. Оптика. Основы атомной физики и квантовой механики. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебное пособие / Под ред. проф. В.В. Ларионова. – 4-е изд. – СПб.: Издательство – «Лань», 2015 – 336 с.

в) методические указания:

1. Конспект лекций по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» (для студентов направления подготовки «Физика») (в 3-х частях), часть 1 «Квантовая оптика. Боровская теория атома. Основы квантовой теории» / Е.И. Харченко, А.В. Чаленко. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2020. – 127 с.

2. Конспект лекций по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» (для студентов направления подготовки «Физика») (в 3-х частях), часть 2 «Водородоподобные и многоэлектронные атомы» / Е.И. Харченко, А.В. Чаленко. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2020. – 98 с.

3. Конспект лекций по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» (для студентов, обучающихся направления подготовки «Физика» (в 3-х частях), часть 3 «Физика молекул и твердого тела» / Е.И. Харченко, А.В. Чаленко. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2021. – 71 с.

4. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» (для студентов направления подготовки «Физика»)) (в 2-х частях). Часть 1, «Квантовая оптика. Боровская теория атома» / Е.И. Харченко, А.В. Чаленко. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2020. – 70 с.

5. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» для студентов направления подготовки «Физика» (в 2-х частях), часть 2 «Элементы квантовой механики. Физика атомов и молекул». / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2020. – 171 с.

6. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» для студентов, обучающихся направления подготовки «Физика» (в 4-х частях), Часть 1. «Квантовая оптика. Боровская теория атома». / Харченко Е.И., Чаленко А.В., Гречка В.А. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2022. – 43 с.

7. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» для студентов, обучающихся направления подготовки «Физика» (в 4-х частях), Часть 2. «Элементы квантовой механики». / Харченко Е.И., Чаленко А.В., Гречка В.А. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2022. – 36 с.

8. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» для студентов, обучающихся направления подготовки «Физика» (в 4-х частях), Часть 3. «Водородоподобные и многоэлектронные атомы». / Харченко Е.И., Корсунов К.А. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2022. – 29 с.

9. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика атома и атомных явлений» для студентов, обучающихся направления подготовки «Физика» (в 4-х частях), Часть 4. «Физика молекул и твердого тела». / Харченко Е.И., Корсунов К.А. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2022. – 37 с.

г) Интернет-ресурсы:

• Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

• Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

- Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>
- Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>
- Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
- Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
- Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

- Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
- Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
- Электронный каталог Научно-технической библиотеки ЮРГПУ (НПИ) – <https://libweb.srspu.ru/MegaProWeb/Web>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/register>
- Научная электронная библиотека eLibrary – <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

- Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

На лекционных занятиях используются комплекты электронных презентаций / слайдов, раздаточный материал, наглядные пособия в аудиториях, оснащенных презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические и лабораторные занятия проводятся в специальных лабораториях, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com

Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине «Физика атома и атомных явлений»

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Физика атома и атомных явлений»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1, ОПК-1.2	Тема 1. Квантовый характер излучения	5
				Тема 2. Экспериментальные основы теории атома. Боровская теория атома.	5
				Тема 3. Корпускулярно-волновой дуализм	5
				Тема 4. Элементы квантовой физики.	5
				Тема 5. Водородоподобные атомы	5
				Тема 6. Магнитные свойства атома.	5
				Тема 7. Многоэлектронные атомы.	5
				Тема 8. Оптические свойства атомов.	5
				Тема 9. Молекулы.	5
				Тема 10. Квантовые свойства конденсированных сред.	5

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ОПК-1 ОПК-1.1 ОПК-1.2	Знать: : основные физические явления и основные законы атомной физики; границы их применимости; основные физические величины и физические константы, их определение, смысл, единицы измерения; концептуальные проблемы квантовой механики, связанные с измерением физических величин Уметь: истолковать смысл физических величин и понятий; формулировать основные положения атомной физики; использовать математический аппарат; наряду с единицами измерения системы СИ пользоваться	Темы 1–10	Вопросы экзаменационных работ, контрольные работы.

		единицами измерения физических величин, принятыми в атомной физике; использовать различные методики проведения физических измерений и обработки экспериментальных данных; формулировать выводы по результатам физических экспериментов; Владеть навыками квантовомеханического расчета атома водорода, молекулы водорода, производить оценки квантово-механических величин, применять полученные теоретические знания для описания квантового состояния микрочастиц		
--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика атома и атомных явлений»

Вопросы к контрольным работам:

1. Квантовая оптика. Боровская теория атома

1. Тепловое излучение. Механизм. Основные физические величины, характеризующие тепловое излучение.
2. Серое и абсолютно черное тело. Модель черного тела. Измерение спектра излучения черного тела.
3. Закон Кирхгофа для теплового излучения. Закон Вина.
4. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения как следствие закона Вина.
5. Оптические температуры и методы их измерения. Радиационная температура. Яркостная температура. Цветовая температура.
6. Закон Рэлея-Джинса. Средняя энергия классического осциллятора.
7. Гипотеза Планка. Средняя энергия квантового осциллятора.
8. Формула Планка для излучения черного тела. Энергия кванта. Предельные случаи малых и больших частот.
9. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Сравнение с экспериментом.
10. Теория теплоемкости Эйнштейна. Сравнение с экспериментом.
11. Гипотеза Эйнштейна о квантовой природе света. Фотоны и их свойства.
12. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Экспериментальные подтверждения квантовой природы света.
13. Эффект Комптона. Формула Комптона.
14. Рентгеновское излучение. Форма спектра в рамках волновой теории света. Коротковолновая граница спектра рентгеновского излучения.
15. Форма спектров излучения. Спектр излучения атома водорода. Серии. Количество и интенсивность линий в серии. Граничная частота серии.
16. Модель атома Томсона.
17. Опыты Резерфорда. Постановка. Результат. Планетарная модель атома.
18. Эффективное сечение. Формула Резерфорда для дифференциального сечения. Экспериментальная проверка. Оценка размеров ядра.
19. Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение постулатов Бора. Опыты Франка-Герца.
20. Расчет атома водорода в теории Бора. Радиусы орбит. Размер атома. Энергетические уровни электронов. Достоинства и недостатки теории Бора.

2. Элементы квантовой механики

1. Каким образом задается состояние частицы с помощью волновой функции? Каким требованиям должна удовлетворять пси-функция?
2. Как определяются средние значения физических величин?
3. Запишите уравнение Шредингера для частицы во внешнем поле.
4. Чем определяется поведение частицы согласно уравнению Шредингера?
5. В чем состоит общий метод решения уравнения Шредингера?
6. Каким образом квантовая механика объясняет гипотезу де-Бройля?
7. Какой физический смысл имеет потенциал типа "яма с бесконечно высокими стенками"?
8. Что математически приводит к дискретности уровней энергии?
9. Сколько квантовых чисел будут определять пси-функцию в трехмерной яме?
10. К каким новым эффектам приводит конечность высоты стенок потенциальной ямы?
11. Как квантовая механика объясняет гипотезу Планка?
12. Запишите уравнение Шредингера для гармонического осциллятора.
13. Что такое нулевая энергия осциллятора?
14. Сформулируйте постулаты квантовой механики.
15. Как находятся возможные значения физической величины?
16. Сформулируйте условие одновременной измеримости динамических переменных в квантовой теории.
17. Как находится вид оператора импульса? момента импульса? Энергии?
18. Какие значения может принимать момент импульса?
19. В чем состоит принцип суперпозиции?
20. Что является условием одновременного существования определенных значений двух физических величин?

3. Водородоподобные и многоэлектронные атомы

1. При каких значениях полной энергии уравнение Шредингера для атома водорода имеет конечные решения?
2. Сколько квантовых чисел определяют состояние электрона в атоме водорода, и каков их физический смысл?
3. Какова кратность вырождения уровней энергии водорода и с чем это связано?
4. Какому правилу отбора подчиняются переходы электрона в атоме водорода и почему?
5. Какой физический смысл боровского радиуса в квантовой механике?
6. Почему снимается вырождение уровней в спектрах щелочных металлов?
7. Чем вызвано появление гипотезы о спине электрона? Как эта гипотеза объясняет расщепление уровней энергии электрона?
8. Каким образом формируется полный механический момент атома в модели LS -связи?
9. Каким образом формируется полный механический момент атома в модели jj -связи?
10. Объясните схему обозначения энергетических состояний атома.
11. Как рассчитать мультиплетность состояния атома?
12. Что такое магнитный момент?

13. Что такое гиромагнитное отношение и чему оно равно для орбитальных моментов? Чему равно гиромагнитное отношение для спиновых моментов?
14. Какие значения может принимать проекция магнитного момента на ось?
15. Как вычисляется гиромагнитное отношение для полных моментов электрона?
16. Как вычисляется магнитный момент атома в модели LS -связи?
17. В чем состоит векторная модель атома?
18. Как найти энергию магнитного момента во внешнем магнитном поле?
19. На сколько уровней расщепляется уровень энергии атома в магнитном поле?
20. В чем состоит опыт Штерна-Герлаха?
21. В чем состоит нормальный эффект Зеемана? В каком случае он проявляется? В чем состоит аномальный эффект Зеемана?
22. В чем состоит эффект Пашена-Бака?
23. В чем состоит явление электронного парамагнитного резонанса?
24. В чем состоит принцип неразличимости тождественных частиц?
25. Какими свойствами обладают волновые функции систем тождественных бозонов и фермионов?
26. В чем состоит принцип Паули?
27. Сколько квантовых чисел задают состояние электрона в атоме? Каков их физический смысл?
28. Почему нарушается порядок заполнения оболочек для средних элементов?
29. Как возникает характеристическое рентгеновское излучение?
30. Как классифицируются рентгеновские спектры?

4. Физика молекул и твердого тела

1. Объясните возникновение ионной (гетерополярной) связи.
2. Какова природа ковалентной (гомополярной) связи?
3. Чем определяется образование ионных молекул?
4. Какие молекулы называют атомными? Приведите примеры.
5. Чему равна энергия молекулы?
6. Чему равна колебательная энергия молекулы? Приведите правило отбора для квантового числа ν .
7. Как определяется вращательная энергия молекулы?
8. Запишите формулу для энергии излученного молекулой фотона в общем случае. При возникновении вращательной полосы. Колебательно-вращательной полосы.
9. Как определяется частота фотона в электронно-колебательных спектрах?
10. В чем заключается явление комбинационного рассеяния света?
11. Объясните природу индуцированных переходов. Приведите основные их свойства.
12. Чему равны коэффициенты Эйнштейна для индуцированного излучения?
13. Чему равна вероятность спонтанного излучения?
14. Как определяется плотность энергии поля излучения равновесной квантовой системы?
15. Объясните принцип работы квантовых усилителей и генераторов.

16. Перечислите основные методы накачки?
17. Приведите основные схемы работы лазера.
18. Объясните принцип работы рубинового лазера.
19. Объясните принцип работы гелий-неонового лазера
20. Какие типы связей могут осуществляться в твердых телах? На какие типы подразделяются кристаллы?
21. Получите формулу теплоемкости твердого тела по классической теории.
22. Как определяется внутренняя энергия кристалла по теории Эйнштейна?
23. Каковы исходные положения теории Дебая?
24. Как определяется максимальная частота нормальных колебаний и наименьшая длина волны, возбуждаемая в кристалле.
25. Получите формулу теплоемкости единицы объема кристалла по Дебаю.
26. Фононы и их свойства.
27. Запишите формулу распределения Бозе-Эйнштейна. Поведение каких частиц оно описывает?
28. Какие частицы называются бозонами?
29. В чем заключается суть приближений сильной и слабой связей?
30. Запишите формулу распределения Ферми-Дирака. Поведение каких частиц оно описывает.
31. Какая величина называется энергией Ферми? Чему равна энергия Ферми при абсолютном нуле?
32. Получите формулу для средней энергии электрона при $T = 0$.
33. Объясните происхождение энергетических зон в кристаллах.
34. Какая зона называется зоной проводимости? Валентной зоной? Запрещенной зоной?
35. Как делятся твердые тела в зависимости от заполнения валентной зоны электронами и ширины запрещенной зоны?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% вопросов/задач)
хорошо (4)	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% вопросов/задач)
удовлетворительно (3)	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% вопросов/задач)
неудовлетворительно (2)	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50%)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

Теоретические вопросы

1. Тепловое излучение. Излучательная и поглощательная способность. Абсолютно чёрное тело (АЧТ). Спектр излучения АЧТ. Законы Стефана-Больцмана, смещения Вина.
2. Формулы Релея-Джинса и Вина для спектра АЧТ. Ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка. Постоянная Планка.

3. Формула Планка для спектра АЧТ. Формулы Релея-Джинса и Вина как предельные случаи формулы Планка. Законы Стефана-Больцмана и смещения Вина как следствия формулы Планка для спектра АЧТ.
4. Гипотеза квантового распространения света Эйнштейна. Фотон. Опыты Боте. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Применение фотоэффекта. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм света. Опыты Яноши. Опыты Тейлора. Опыты Вавилова.
5. Катодные и анодные лучи. Электрон. Определение удельного заряда электрона. Масс-спектрометры и масс-спектрографы.
6. Модель атома Нагаоки. Модель атома Томсона. Эксперименты Ленарда.
7. Опыты Резерфорда. Модель атома Резерфорда. Размеры атома и ядра. Заряд и масса ядра. Трудности модели Резерфорда.
8. Формулы Резерфорда для угла рассеяния и сечения рассеяния.
9. Спектральные закономерности излучения атомов. Формулы Бальмера. Комбинационный принцип Ритца. Постоянная Ридберга.
10. Гипотеза Никольсона. Постулаты Бора. Теория Бора атома водорода.
11. Спектральные серии атома водорода. Трудности теории Бора. Теория Бора-Зоммерфельда.
12. Опыты Франка и Герца.
13. Гипотеза Луи де-Бройля. Длина волны де-Бройля. Применение гипотезы де-Бройля к квантованию атома.
14. Опыты Девисона-Джермера. Опыты Бибермана, Сушкина и Фабриканта.
15. Плоская волна де-Бройля. Волновой пакет.
16. Соотношение неопределённостей. Дифракция на щели. Микроскоп Гейзенберга. Дискуссия Бора и Эйнштейна
17. Волновая функция. Требования к волновой функции. Временное (общее) уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
18. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме. Уровни энергии и волновые функции. Принцип соответствия.
19. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Примеры потенциальных барьеров.
20. Средние значения физических величин. Поток плотности вероятности. Оператор импульса.
21. Постулаты квантовой механики.
22. Операторы координаты, импульса, момента импульса, энергии. Свойства операторов.
23. Квантовый аналог скобок Пуассона.
24. Условие одновременной измеримости динамических переменных в квантовой теории.
25. Гармонический осциллятор. Уровни энергии и волновые функции. Нулевая энергия Экспериментальное доказательство существования нулевой энергии.
26. Оценка энергии гармонического осциллятора на основе соотношения неопределённостей.
27. Уравнение Шредингера для водородоподобного атома. Радиальная часть волновой функции. Распределение плотности вероятности. Квантование энергии.

28. Квантование момента импульса. Орбитальное квантовое число. Магнитное квантовое число.
29. Вырождение уровней энергии в водородоподобном атоме. Главное квантовое число. Правила отбора.
30. Орбитальный магнитный момент. Магнетон Бора. Тонкая структура атомных спектров.
31. Гипотеза Паули. Спин электрона. Гиромагнитное отношение.
32. Опыты Штерна и Герлаха. Опыт Эйнштейна и де Гааза. Опыты Барнета.
33. Спин-орбитальное взаимодействие. Постоянная тонкой структуры.
34. Полный момент атома. Связь Рассела-Саундерса. $j-j$ связь. Фактор Ланде. Правила отбора.
35. Принцип Паули. Симметричная и антисимметричная волновые функции. Фермионы и бозоны.
36. Электронные оболочки атомов и их заполнение. Символика электронных состояний. Правило Клечковского. Вырождение энергетических уровней. Правило Хунда. Переходные элементы. Периодический закон Менделеева.
37. Взаимодействие электронов в многоэлектронных атомах. Уровни энергии и спектры атомов щелочных элементов. Квантовый дефект.
38. Рентгеновское излучение. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
39. Расщепление оптических линий в магнитном поле. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана.
40. Эффект Пашена-Бака.
41. Эффект Штарка.
42. Адиабатическое приближение. Молекула водорода. Гомеополлярная связь. Обменное взаимодействие.
43. Структура сложных молекул. Электронная, колебательная и вращательная составляющие энергии молекулы и их квантование. Спектр двухатомной молекулы.
44. Модели твёрдого тела. Приближение слабосвязанных электронов. Идеи Хартри-Фока.
45. Приближение сильно связанных электронов.
46. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
47. Элементы зонной теории. Металлы, изоляторы, полупроводники. Энергия Ферми. Контактная разность потенциалов.
48. Термоэлектронная эмиссия. Эффект Шотки.
49. Сверхпроводимость.
50. Сверхтекучесть.

Практические задания

1. Имеется два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500$ К. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности, на $\Delta\lambda = 0,50$ мкм больше длины волны, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.
2. Найти с помощью формулы Планка мощность излучения единицы поверхности абсолютно черного тела, приходящегося на узкий интервал длин волн

$\Delta\lambda = 1,0$ нм вблизи максимума спектральной плотности излучения, при температуре тела $T = 3000$ К.

3. Лазер излучил в импульсе длительностью $\tau = 0,13$ мс пучок света с энергией $E = 10$ Дж. Найти среднее давление такого светового импульса, если его сфокусировать в пятнышко диаметром $d = 10$ мкм на поверхность, перпендикулярную к пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,50$.

4. При увеличении напряжения на рентгеновской в $\eta = 1,5$ раза длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра изменилась на $\Delta\lambda = 26$ пм. Найти первоначальное напряжение на трубке.

5. Фотон с энергией $\hbar\omega = 1,00$ МэВ рассеялся на свободном покоившемся электроны. Найти кинетическую энергию электрона отдачи, если в результате рассеяния длина волны фотона изменилась на $\eta = 25\%$.

6. Альфа-частица с кинетической энергией $0,27$ МэВ рассеялась золотой фольгой на угол 60° . Найти соответствующее значение прицельного параметра.

7. Определить длину волны λ спектральной линии атомарного водорода, частота которой равна разности частот следующих двух линий серии Бальмера: $\lambda_1 = 486,1$ нм и $\lambda_2 = 410,2$ нм. Какой серии принадлежит эта линия?

8. Какую энергию необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от 100 до 50 пм?

9. Электрон с кинетической энергией $T \approx 4$ эВ локализован в области $l = 1$ мкм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.

10. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы, если разность энергии между уровнями с $n_1 = 2$ и $n_2 = 3$ составляет $\Delta E = 0,30$ эВ.

11. Волновая функция частицы массы m для основного состояния в одномерном потенциальном поле $U(x) = kx^2/2$ имеет вид $\psi(x) = A \exp(-\alpha x^2)$, где A и α – некоторые постоянные. Найти с помощью уравнения Шредингера постоянную α и энергию частицы E в этом состоянии.

12. Найти энергию связи валентного электрона в основном состоянии атома лития, если известно, что длина волны головной линии резкой серии $\lambda_1 = 813$ нм и длина волны коротковолновой границы этой серии $\lambda_2 = 350$ нм.

13. Определить отношение числа атомов газообразного натрия в состоянии $3P$ к числу атомов в основном состоянии $3S$ при температуре $T = 2400$ К. Известно, что переходу $3P \rightarrow 3S$ соответствует спектральная линия с длиной волны $\lambda = 589$ нм.

14. Найти длину волны K_α -линии меди ($Z = 29$), если известно, что длина волны K_α -линии железа ($Z = 26$) равна 193 пм.

15. Найти напряжение на рентгеновской трубке с никелевым антикатодом, если разность длин волн K_α -линии и коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра равна 84 пм?

16. Определить спиновый механический момент атома в состоянии D_2 , если максимальное значение проекции магнитного момента в этом состоянии равно четырем магнетонам Бора.

17. Атом водорода в нормальном состоянии находится на расстоянии $r = 2,5$ см от длинного прямого проводника с током $I = 10$ А. Найти силу, действующую на атом.

18. Определить угловую скорость вращения молекулы S_2 , находящейся на первом возбужденном вращательном уровне, если расстояние между ее ядрами $d = 189$ пм.

19. Найти механический момент молекулы кислорода, вращательная энергия которого $E = 2,16$ мэВ, а расстояние между ядрами $d = 121$ пм.

20. Найти собственную частоту колебаний и коэффициент квазиупругой силы молекулы S_2 , если в колебательном спектре комбинационного рассеяния света длины волн красного и фиолетового спутников, ближайших к несмещенной линии, равны 346,6 и 330,0 нм.

21. Вычислить удельные теплоемкости c кристаллов алюминия и меди по классической теории теплоемкости.

22. Найти частоту ν колебаний атомов серебра по теории теплоемкости Эйнштейна, если характеристическая температура θ_E серебра равна 165 К.

23. Зная функцию распределения частот $g(\omega) = \frac{9N}{\omega_{\max}^3} \omega^2$ для трехмерной кристаллической решетки, вывести формулу для энергии кристалла, содержащего число N (равное постоянной Авогадро) атомов.

24. Сколько процентов свободных электронов в металле при $T = 0$ К имеют кинетическую энергию, превышающую половину максимальной?

25. Найти число свободных электронов, приходящихся на один атом натрия при $T = 0$ К, если уровень Ферми $E_F = 3,07$ эВ и плотность натрия равна $0,97$ г/см³.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)