

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(П.В.Середин)  
05.06.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.О.22 Атомная физика

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.03.02

*Физика*

2. Профиль подготовки/специализация:

*физика твердого тела*

3. Квалификация выпускника: *Бакалавр*

4. Форма образования: *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

*физики твердого тела и наноструктур*

6. Составители программы: *Руднев Евгений Владимирович,*

*кандидат физ.-мат. наук*

7. Рекомендована: *НМС физического факультета ВГУ, протокол № 5 от 25.05.2023г.*

8. Учебный год: 2024–2025

Семестр: 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целью освоения курса атомной физики является* ознакомление студентов с основными законами современной физики микромира и возможностями их применения при решении задач, возникающих в их последующей профессиональной деятельности.

Атомная физика позволяет научить студентов строить физические модели происходящего и устанавливать связь между явлениями, прививает понимание причинно-следственной связи между явлениями, формирует у студентов подлинно научное мировоззрение. Обладая логической стройностью и опираясь на экспериментальные факты, дисциплина «Атомная физика» логически завершает курс общей физики и, вместе с тем, является основой для более глубокого понимания последующих курсов по теоретической физике и спецкурсов.

### *Задачи учебной дисциплины:*

- изучение корпускулярных свойств электромагнитного излучения;
- ознакомление с развитием взглядов на строение атома;
- изучение волновых свойств микрочастиц;
- знакомство с основными положениями и простейшими задачами квантовой механики;
- овладение навыками применения методов квантовой механики на примере атома водорода;
- ознакомление с дальнейшим развитием квантовой теории применительно к многоэлектронным атомам;
- овладение методами исследования явлений, возникающих при взаимодействии атома с электромагнитным полем;
- знакомство с элементами физики молекул и конденсированных сред.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Блок1, обязательная часть.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов:

40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»

– А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований»;

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

– С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур»;

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.4	Решает типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук	Знать: методы решения типовых задач с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук
				Уметь: решать типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук
				Владеть: навыками решения типовых задач с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук
		ОПК-1.5	Умеет использовать знания основных законов естественных дисциплин в профессиональной деятельности	Знать: основные законы естественных дисциплин
				Уметь: использовать знания основных законов естественных дисциплин в профессиональной деятельности
				Владеть: навыками использования знания основных законов естественных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК-1.6	Владеет навыками использования знаний о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении практических задач, структурирования естественнонаучной информации	Знать: методы исследования, современные концепции, достижения и ограничения естественных наук при решении практических задач, структурирования естественнонаучной информации		
		Уметь: использовать знания о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении практических задач, структурирования естественнонаучной информации		

				Владеть: навыками использования знаний о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении практических задач, структурирования естественнонаучной информации
ОПК-2	Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	ОПК-2.1	Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений	Знать: соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений Уметь: выбирать и использовать соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений Владеть: навыками выбора и использования соответствующих ресурсов, современных методик и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений
		ОПК-2.2	Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов	Знать: способы и методы обработки и представления полученных экспериментальных данных для получения обоснованных выводов Уметь: обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов Владеть: навыками обработки и представления полученных экспериментальных данных для получения обоснованных выводов

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 5 / 180.

Форма промежуточной аттестации Экзамен, зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		5 семестр	
Аудиторные занятия	102	102	
в том числе:	лекции	34	34
	практические	34	34
	лабораторные	34	34
	групповые консультации	16	16
Самостоятельная работа	26	26	
Форма промежуточной аттестации – экзамен, зачет			
Итого:	180	180	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Корпускулярные свойства электромагнитных волн	Предмет атомной физики. Краткий исторический очерк развития представлений об атомном строении вещества. Тепловое излучение и противоречия классической физики. Спектральная плотность теплового излучения абсолютно черного тела. Формула Рэлея - Джинса. Гипотеза Планка. Фотоны и их свойства. Опыт Боте. Фотоэффект и его законы. Объяснение законов фотоэффекта с квантовых позиций. Уравнение Эйнштейна. Тормозное рентгеновское излучение. Наличие коротковолновой границы тормозного рентгеновского излучения как доказательство квантовой природы света. Эффект Комптона и его объяснение с квантовых позиций.
1.2	Развитие взглядов на строение атома	Закономерности в атомных спектрах. Термы. Комбинационный принцип Ритца и следствие из него. Постоянная Ридберга. Формула Бальмера. Спектральные серии атома водорода. Модель Томсона. Количественная теория рассеяния частиц. Формула Резерфорда. Опыты Резерфорда по рассеянию $\alpha$ -частиц. Планетарная модель атома и классическая физика. Экспериментальные закономерности в атомных спектрах. Спектр атома водорода. Комбинационный принцип Ритца. Закономерности излучения и классическая физика. Постулаты Бора. Теория Бора для водородоподобных атомов. Спектральные серии атома водорода в теории Бора. Опыты Франка и Герца. Недостатки теории Бора.
1.3	Волновые свойства микрочастиц	Волна де Бройля. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля. Длина волн де Бройля. Опыты Дэвиссона и Джермера. Опыты Томсона и Тартаковского. Опыты по дифракции нейтронов, атомов и молекул. Основные свойства волн де Бройля. Фазовая и групповая скорости. Волновой пакет и частица. Интерпретация волн де Бройля. Опыт Бибермана, Сушкина и Фабриканта.
1.4	Элементы квантовой механики	Понятие о волновой функции. Свойства волновой функции. Условие нормировки. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Соотношение неопределенностей. Частица в одномерной потенциальной яме. Дискретность энергии. Гармонический осциллятор. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Квантование момента импульса. Орбитальное и магнитное квантовые числа.
1.5	Атом водорода и водородоподобные атомы	Энергетические уровни и волновые функции электрона в атоме водорода. Распределение плотности вероятности в основном состоянии. Спектр излучения. Правила отбора. Определение и общая характеристика водородоподобных атомов и систем. Энергетические уровни и спектры атомов щелочных металлов.

1.6	Механический и магнитный моменты атома	Связь момента импульса с магнитным моментом. Орбитальный магнитный момент электрона. Магнетон Бора. Опыты Штерна и Герлаха. Собственный магнитный момент электрона. Спин электрона. Сложение моментов импульса. Квантовое число суммарного момента. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура спектров.
1.7	Многэлектронные атомы	Квантовые числа электрона в многэлектронном атоме. Принцип Паули. Периодическая система элементов Д.И.Менделеева. Полный момент атома. Символы термов. Мультиплетность терма. Правило Хунда. Оптические спектры. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
1.8	Взаимодействие атома с электромагнитным полем	Влияние внешнего магнитного и электрического полей на энергетические уровни атомов и спектры. Эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Магнитные резонансы. Электронный парамагнитный резонанс. Эффект Штарка..
1.9	Молекулы	Образование молекул из атомов. Типы химической связи. Ионная и ковалентная связи. Адиабатическое приближение. Ион молекулы водорода. Молекула водорода. Энергетические состояния двухатомных молекул. Сложные молекулы. Электронные, колебательные и вращательные состояния многоатомных молекул. Принцип Франка-Кондона. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние.
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Корпускулярные свойства электромагнитных волн	Решение задач по темам: тепловое излучение; корпускулярные свойства электромагнитного излучения.
2.2	Развитие взглядов на строение атома	Решение задач по темам: рассеяние частиц; формула Резерфорда; водородоподобные системы; формула Бальмера.
2.3	Волновые свойства микрочастиц	Решение задач по темам: волны де Бройля; соотношение неопределенностей Гейзенберга;
2.4	Элементы квантовой механики	Решение задач по темам: уравнение Шредингера; частица в прямоугольной потенциальной яме; прохождение частицы через барьер; квантовомеханические операторы.
2.5	Атом водорода и водородоподобные атомы	Решение задач по темам: уравнение Шредингера в случае центрально-симметричного поля; атом водорода.
2.7	Многэлектронные атомы	Решение задач по темам: состояния электронов в атоме
2.8	Взаимодействие атома с электромагнитным полем	Решение задач по темам: магнитные свойства атома; эффект Зеемана.
<b>3. Лабораторные работы</b>		
3.1	Волновые свойства микрочастиц	Лабораторная работа 1. Дифракция рентгеновских лучей на трёхмерной кристаллической решётке. Расчёт лауэграмм. Лабораторная работа 2. Дифракция рентгеновских лучей на поликристаллах. Расчёт рентгенограмм известных образцов.
3.2	Многэлектронные атомы	Лабораторная работа 3. Электронное строение атомов. Рентгеновские лучи и их спектры. Лабораторная работа 4. Идентификация фаз. Расчёт дифрактограмм неизвестных фаз и их идентификация с помощью базы данных ICDD.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Групповые консультации	Самостоятельная работа	Контроль

					ции			
1	Корпускулярные свойства электромагнитных волн	4	4		2	2	4	16
2	Развитие взглядов на строение атома	4	10		4	4	6	28
3	Волновые свойства микрочастиц	4	4	16		2	4	30
4	Элементы квантовой механики	4	4		2	4	4	18
5	Атом водорода и водородоподобные атомы	4	4		2	4	4	18
6	Механический и магнитный моменты атома	4			2	2	4	12
7	Многоэлектронные атомы	4	4	18		2	4	32
8	Взаимодействие атома с электромагнитным полем	4	4		2	4	4	18
9	Молекулы	2			2	2	2	8
	Итого:	34	34	34	16	26	36	180

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Атомная физика» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателями и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; практические занятия; лабораторные занятия; групповые консультации; самостоятельная работа; контроль. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне



пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако, как бы хорошо не обучались студенты способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Атомная физика» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, решение задач, заданных преподавателем на практических занятиях, выполнение лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Атомная физика» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 8 часов
решение задач	- 8 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 2 часа
написание отчетов по лабораторным работам	– 4 часа
подготовку к зачету	– 2 часа
подготовку к экзамену	– 2 часа
итога	– 26 часов

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Ч.1. Атомная физика / Д.В. Сивухин - М.: Наука, 1986. – 416 с.
2.	Иродов И.Е. Атомная и ядерная физика. Сборник задач / И.Е. Иродов. - СПб. : Изд-во «Лань», 2002. - 288 с.
3.	Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Лекции по атомной физике/ М.А.Фаддеев, Е.В.Чупрунов- М.:Физматлит,2008.-612 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Шпольский Э.В. Атомная физика (в 2-х т.) / Э.В. Шпольский – М.: Наука, 1984. – 552 с. (т.1), 438 с. (т.2).
5.	Матвеев А.Н. Атомная физика. / А.Н. Матвеев – М.: Высш. шк., 1989. – 439 с.
6.	Савельев И.В. Курс общей физики. Кн.5 – М.: Наука, 1998. – 368 с.
7.	Трофимова Т.И. Оптика и атомная физика: законы, проблемы, задачи / Т.И. Трофимова – М.: Высш. шк., 1999. –287 с.
8.	Давыдов А.С. Квантовая механика. / А.С. Давыдов – ВХВ, 2016. – 704 с.. — ISBN 978-5-9775-3809-1.
9.	Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 257 с.
10.	Мелешина А.М. Краткий курс квантовой механики и квантовой статистики – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. – 272 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
11.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
12.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
13.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
14.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
15.	<a href="http://www.iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
16.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
17.	Руднев Е.В., Терновая В.Е. Задачи по физике атомов и атомных явлений. Часть 1..Введение в атомную физику.- Воронеж: Издательский дом ВГУ. - 2015.- 26 с.
18.	Руднев Е.В., Терновая В.Е. Задачи по физике атомов и атомных явлений. Часть 2. Электронная оболочка атомов. - Воронеж: Издательский дом ВГУ. - 2015.- 23 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции, практические занятия, лабораторные работы, групповые консультации, самостоятельная работа, контрольные работы. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, решение задач и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-

исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Для проведения компьютерных лекционных демонстраций, показа рисунков и графиков требуется персональный компьютер, мультимедийный проектор и экран.

При проведении лабораторных занятий используются рентгеновский дифрактометр Радан ДР-02 и рентгеновский спектрометр СУР – 01 Реном.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОПК-1	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные опытные факты, послужившие толчком к созданию квантовой теории</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять полученные знания при решении конкретных задач.</li> </ul>	Корпускулярные свойства электромагнитных волн	Устный опрос, контрольная работа,
	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- этапы становления современной физики атомов</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять полученные знания при решении конкретных задач.</li> </ul>	Развитие взглядов на строение атома. Волновые свойства микрочастиц	Устный опрос, контрольная работа, лаб. работы 1, 2,
	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные представления современной физики атомов и атомных явлений</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять полученные знания при решении конкретных задач.</li> </ul> <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками использования математического аппарата атомной физики для решения простых квантово-механических задач..</li> </ul>	Элементы квантовой механики. Атом водорода и водородоподобные атомы. Механический и магнитный моменты атома. Многоэлектронные атомы. Взаимодействие атома с электромагнитным полем. Молекулы	Устный опрос, контрольная работа, лаб. работы 3, 4,
ОПК-2	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные опытные факты, послужившие</li> </ul>	Корпускулярные свойства	Устный опрос, контрольная

	толчком к созданию квантовой теории уметь: - применять полученные знания при решении конкретных задач.	электромагнитных волн	работа,
	знать: - этапы становления современной физики атомов уметь: - применять полученные знания при решении конкретных задач.	Развитие взглядов на строение атома. Волновые свойства микрочастиц	Устный опрос, контрольная работа, лаб. работы 1, 2,
	знать: - основные представления современной физики атомов и атомных явлений уметь: уметь: - применять полученные знания при решении конкретных задач. владеть: -навыками использования математического аппарата атомной физики для решения простых квантово-механических задач..	Элементы квантовой механики. Атом водорода и водородоподобные атомы. Механический и магнитный моменты атома. Многоэлектронные атомы. Взаимодействие атома с электромагнитным полем. Молекулы	Устный опрос, контрольная работа, лаб. работы 3, 4,
<b>Промежуточная аттестация</b>			Комплект КИМ

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: контрольные работы, отчеты о выполнении лабораторных работ.

#### Перечень тем контрольных работ

Контрольная работа 1. Корпускулярные свойства электромагнитных волн.  
Контрольная работа 2. Развитие взглядов на строение атома. Волновые свойства микрочастиц.  
Контрольная работа 3. Элементы квантовой механики. Атом водорода и водородоподобные атомы. Многоэлектронные атомы. Взаимодействие атома с электромагнитным полем.

#### Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Дифракция рентгеновских лучей на трёхмерной кристаллической решётке. Расчёт лауэграмм.  
Лабораторная работа 2. Дифракция рентгеновских лучей на поликристаллах. Расчёт рентгенограмм известных образцов.  
Лабораторная работа 3. Электронное строение атомов. Рентгеновские лучи и их спектры.

Лабораторная работа 4. Идентификация фаз. Расчёт дифрактограмм неизвестных фаз и их идентификация с помощью базы данных ICDD.

Для текущего контроля успеваемости используются а) устный опрос, контрольные работы, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*; б) отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *зачтено/незачтено*

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания при решении задач	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при решении задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен решать задачи	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет решать задачи	Компетенция не сформирована	<i>Неудовлетворительно</i>
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения лабораторных работ Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении лабораторных работ Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять лабораторные работы	Компетент в достаточной степени	<i>Зачтено</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не выполняет лабораторные работы	Компетенция не сформирована	<i>Не зачтено</i>

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к экзамену

#### Контрольно-измерительный материал № 1

1. Закономерности в атомных спектрах. Термы. Комбинационный принцип Ритца и следствие из него. Термы атома водорода. Постоянная Ридберга.

2. Момент импульса частицы. Правила коммутации операторов проекции углового момента.

#### **Контрольно-измерительный материал № 2**

1. Формула Бальмера для спектроскопического волнового числа и циклической частоты спектральных линий атома водорода. Водородоподобный ион. Обобщенная формула Бальмера. Спектральные серии атома водорода.

2. Операторы проекции углового момента  $L_z$  и квадрата углового момента  $L^2$ , их собственные значения и собственные функции.

#### **Контрольно-измерительный материал № 3**

1. Опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Рассеяние  $\alpha$ -частицы а) на 1 атоме, б) тонким слоем атомов. Формула Резерфорда.

2. Сложение угловых моментов двух невзаимодействующих частиц. Сложение угловых моментов с помощью векторных диаграмм.

#### **Контрольно-измерительный материал № 4**

1. Модель атома Томсона. Планетарная модель атома Бора-Резерфорда. Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение постулатов Бора (опыты Франца и Герца).

2. Движение частицы в случае сферически симметричного силового поля. Уравнение Шредингера для радиальной части волновой функции частицы в центральном поле.

#### **Контрольно-измерительный материал № 5**

1. Элементарная боровская теория атома водорода. Радиусы Электронных орбит и энергии стационарных состояний. Недостатки теории Бора.

2. Атом водорода (движение в кулоновском поле), дискретный спектр.

#### **Контрольно-измерительный материал № 6**

1. Энергетический спектр атома водорода в рамках боровской теории. Спектр излучения (поглощения) атомов водорода. Постоянная Ридберга для водородоподобных ионов. Изотопическое смещение.

2. Энергетические уровни и спектральные серии щелочных металлов. Квантовый дефект.

#### **Контрольно-измерительный материал № 7**

1. Волновые свойства частиц. Гипотеза Дебройля. Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма (Опыты Девиссона и Джермера, Томсона и Тартаковского, Штерна, дифракция нейтронов).

2. Правила отбора и спектральные серии щелочных металлов.

#### **Контрольно-измерительный материал № 8**

1. Статистическая интерпретация волн Дебройля и волновой функции. Волновая функция свободной частицы. Условие нормировки. Принцип суперпозиции.

2. Магнитный момент атома. Экспериментальное доказательство наличия у атомов магнитных моментов (опыты Штерна и Герлаха).

#### **Контрольно-измерительный материал № 9**

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса и следствия из него. Соотношение неопределенностей для времени и энергии и его интерпретация.

2. Спин электрона. Гиромагнитное отношение для спинового и орбитального угловых моментов. Спин фотона.

#### **Контрольно-измерительный материал № 10**

1. Уравнение Шредингера. Принцип суперпозиции (точная формулировка). Уравнение Шредингера для стационарных состояний Условия, накладываемые на волновую функцию.

2. Тонкая структура спектральных линий. Спин-орбитальное взаимодействие.

#### **Контрольно-измерительный материал № 11**

1. Движение частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Случай трехмерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками.

2. Тонкая структура многоэлектронных атомов. Нормальная связь. ( $j$ - $j$ ) связь.

#### **Контрольно-измерительный материал № 12**

1. Падение частицы на одномерный прямоугольный потенциальный барьер полубесконечной ширины. Случай  $E < U_0$ .

2. Правила отбора при излучении (поглощении) света для многоэлектронных атомов. Тонкая структура спектральных линий атома водорода.

#### **Контрольно-измерительный материал № 13**

1 Свободная частица в ограниченном объеме пространства. Разложение волновой функции по базису. Условие нормировки для свободной частицы.

2 Эффект Зеемана. Простой, или нормальный эффект Зеемана. Сложный или аномальный эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.

#### **Контрольно-измерительный материал № 14**

1 Падение частицы на одномерный прямоугольный потенциальный барьер полубесконечной ширины. Случай  $E > U_0$ .

2 Тонкая структура спектральных линий щелочных металлов.

#### **Контрольно-измерительный материал № 15**

1 Вычисление средних значений координаты и импульса.

Собственные значения и собственные функции оператора импульса

2 Принцип тождественности одинаковых частиц. Понятия симметрии и антисимметрии волновых функций. Бозоны и фермионы. Волновые функции системы из двух невзаимодействующих частиц.

#### **Контрольно-измерительный материал № 16**

1 Операторы физических величин. Свойства линейности и самосопряженности. Произведение операторов. Коммутаторы.

2 Волновые функции для системы из произвольного числа тождественных частиц. Принцип Паули.

#### **Контрольно-измерительный материал № 17**

1 Собственные функции и собственные значения операторов. Уравнения Шредингера в операторной форме.

2 Объяснение периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева.

#### **Контрольно-измерительный материал № 18**

1 Теоремы о собственных функциях коммутирующих операторов.

2 Рентгеновские лучи.

### **Описание технологии проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен по теоретическому курсу с учетом выполнения контрольных работ по практическим занятиям (решению задач) и зачет по лабораторным работам.

Оценка уровня освоения дисциплины «Атомная физика» (экзамен) осуществляется по следующим показателям:

- оценки по контрольным работам по практическим занятиям (решение задач);
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Атомная физика» (экзамен):

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций:

компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Атомная физика» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Оценка уровня освоения дисциплины «Атомная физика» (зачет) осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы по теме лабораторных работ;

Критерии оценки освоения дисциплины «Атомная физика» (зачет) :

– оценка *зачтено* выставляется

1) при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

2) в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

3) в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *не зачтено* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Атомная физика» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *не зачтено*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.



## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 03.03.02 Физика  
*шифр и наименование направления/специальности*

Дисциплина: Б1.О.22 Атомная физика  
*код и наименование дисциплины*

Профиль подготовки: Физика наносистем  
*в соответствии с Учебным планом*

Форма обучения: очная

Учебный год: 2021-2022

Ответственный исполнитель -

Зав.кафедрой ФТТиНС \_\_\_\_\_ (П.В. Середин) 31.08.2021  
*должность, подразделение* *подпись* *расшифровка подписи*

Исполнители:

Доц. каф. ФТТиНС \_\_\_\_\_ (Е.В. Руднев) 31.08.2021  
*должность, подразделение* *подпись* *расшифровка подписи*

\_\_\_\_\_  
*должность, подразделение* *подпись* *расшифровка подписи* \_\_\_\_\_. \_\_\_\_ 20\_\_

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО  
направления 03.03.02 \_\_\_\_\_ (Г.В. Быкадорова) 31.08.2021  
*подпись* *расшифровка подписи*

Зав.отделом  
обслуживания ЗНБ \_\_\_\_\_ (Н.В. Белодедова) 31.08.2021  
*подпись* *расшифровка подписи*

Рекомендована НМС физического факультета, протокол № 6 от 17.06.2021  
*(наименование факультета, структурного подразделения)*