

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

УТВЕРЖДАЮ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой оптики  
и спектроскопии

(Овчинников О.В.)

подпись, расшифровка подписи

21 .06 .2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.09.02 Дополнительные главы теории атомных**  
**спектров**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

14.03.02 Ядерные физика и технологии

**2. Профиль подготовки:** Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра оптики и  
спектроскопии

**6. Составители программы:** д.ф.-м.н, профессор Овчинников О.В., к.ф.-м.н.,  
доцент Леонова Лиана Юрьевна

**7. Рекомендована:** Научно-методическим советом физического факультета,  
протокол № 6 от 20.06.2023

---

**8. Учебный год:** 2025/2026

**Семестр(ы):** 7

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Курс предназначен с целью более глубокого знакомства их с применением квантовой механики к решению задачи о систематике стационарных состояний многоэлектронных атомов и связи этих состояний со спектрами. При этом в лекционном курсе в приближении центрального поля вводится понятие электронных конфигураций всех атомов таблицы Менделеева, в рамках теории возмущения рассматриваются типы взаимодействия электронов друг с другом, проводится на этой основе систематика состояний для всех групп атомов, показываются основные серии оптических переходов, а затем в лабораторном практикуме ведется расшифровка наиболее характерных спектров некоторых атомов.

В результате изучения курса студенты получают знания по применению квантовой механики в конкретном случае – систематика электрических состояний многоэлектронных атомов. Они приобретают умение и навыки работы с квантово-механическим аппаратом. Получают знания о роли нецентрального и спин – орбитального взаимодействия в систематике состояний атомов, знакомятся с закономерностями расположения состояний в энергетической шкале и спектральных линий в спектрах. Во время прохождения лабораторного практикума эти знания закрепляются, а на примере спектров нескольких атомов получают навыки расшифровки спектров, получают представление о сериях линий и мультиплетов в спектрах. Все это позволяет студенту глубже понять квантовую механику, научиться пользоваться математическим аппаратом квантовой механики и увидеть связь квантовой механики с экспериментом.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина по выбору цикла Б1.В.ДВ

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способность использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области	ПК-1.2;  ПК-1.3;	Использует основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора  Умеет проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований	Уметь: использовать основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора;  проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.**(в соответствии с учебным планом) : 4 /144.

**Форма промежуточной аттестации - зачет**

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра 7	№ семестра	...
Аудиторные занятия	54	54		
в том числе: лекции	18	18		
практические				
Лабораторные	36	36		
Самостоятельная работа	90	90		
Форма промежуточной аттестации (зачет)				
Итого:	144	144		

### Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.	Введение.	Введение. Связь курса с курсом квантовой механики и его значение в изучении квантовой механики. Роль курса в спецкурсах каждой специализации.
2.	Теоретическая основа описания атомных состояний	Уравнение Шредингера для атомов. Релятивистские поправки. Одноэлектронное приближение. Приближение центрального поля.
3.	Движение электрона в центральном поле.	Решение уравнения Шредингера для движения электрона в центральном поле. Систематика состояний электрона в центральном поле. Электронные конфигурации для всех групп атомов таблицы Менделеева.
4.	Учёт поправок к электронным состояниям по теории возмущения.	Нецентральное взаимодействие. Спин - орбитальное взаимодействие. Коммутационные соотношения. Типы связей (L-S связь, (j, j) связь). Полный момент атома.
5.	Нормальная связь (L-S связь).	Систематика атомных состояний при L-S связи. Термы. Правило Гунда. Нахождение термов многоэлектронных конфигураций. Неэквивалентные и эквивалентные электроны. Атомные уровни.
6.	(j, j) - связь.	Систематика электронных и атомных состояний при (j, j) связи. Сопоставление атомных состояний в схеме нормальной и (j j) - связи.
7.	Мультиплетное расщепление.	Мультиплетное расщепление термов. Правила отбора оптических переходов. Мультиплеты в спектрах.
8.	Спектры многоэлектронных атомов.	Спектры многоэлектронных атомов и ионов. Спектральные серии.
9.	Спектр атома водорода и водородоподобных ионов.	Спектральные серии атома водорода. Тонкая структура электронных состояний атома водорода и спектральных линий. Лэмбовский сдвиг.
10.	Атомные спектры и периодическая система Менделеева	Периодичность расположения электронов в атомах и атомные спектры. График Мозеля.
11.	Изучение сериальной структуры спектра атома алюминия	Уровни энергии и спектр атома алюминия. Получение и расшифровка спектрограмм атома алюминия. Группировка линий в серии. Вычисление эффективных квантовых чисел и квантовых дефектов верхних уровней серий. Определение

		пределов серий, эффективных квантовых чисел и квантовых дефектов основного термина алюминия. Вычисление потенциала ионизации атома алюминия и коэффициента поляризуемости атомного остатка алюминия.
--	--	--

### Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практическое	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение.	1		0	6	7
2.	Теоретическая основа описания атомных состояний	1		0	6	7
3.	Движение электрона в центральном поле.	2		4	8	14
4.	Учёт поправок к электронным состояниям по теории возмущения.	2		4	8	14
5.	Нормальная связь (L-S связь).	2		4	8	14
6.	(j, j) - связь.	2		4	8	14
7.	Мультиплетное расщепление.	2		4	8	14
8.	Спектры многоэлектронных атомов.	2		4	10	16
9.	Спектр атома водорода и водородоподобных ионов.	2		4	10	16
10.	Атомные спектры и периодическая система Менделеева	1		4	10	15
11.	Изучение серийной структуры спектра атома алюминия	1		4	8	15
	Итого:	18		36	90	144

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

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- Подготовка к лабораторным занятиям.

В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения лабораторных работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Ельяшевич М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия / М. А. Ельяшевич; предисл. Л. А. Грибова. — Изд. 4-е, стер. — М.: URSS: КомКнига, 2007 .— 415 с.: ил. — Загл. корешка : Атомная спектроскопия. — Предм. указ.: с. 404-415. — Библиогр.: с. 379-400.
2.	Собельман И. И. Введение в теорию атомных спектров / И.И. Собельман .— М.: Наука, 1977. — 319 с.
3.	Дополнительные главы атомных спектров: пособие для студентов : специальность: 010701-Физика / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Т.В. Волошина, Л.Ю. Леонов, А.Н. Латышев. - Воронеж, 2004. - 23 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Давыдов А. С. Квантовая механика: [учебное пособие для студентов ун-тов и техн. вузов] / А.С. Давыдов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. — 703 с.
5.	Дробышев А. И. Основы атомного спектрального анализа: Учеб. пособие / С.-Петербург. ун-т. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1997. — 198 с.
6.	Фриш С. Э. Оптические спектры атомов: учебное пособие / С.Э. Фриш. — Изд. 2-е, испр. — СПб. [и др.]: Лань, 2010. — 644 с.
7.	Зайдель А. Н. Основы спектрального анализа / А.Н. Зайдель. — М.: Наука: Физматлит, 1965. — 322 с.

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

№ п/п	Источник
8.	Поисковая система e-library.ru
9.	Поисковая система google.ru
10.	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
11.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
12.	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
13.	ЭБС "Издательства "Лань" <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>
14.	ЭБС "Университетская библиотека online" <a href="https://biblioclub.lib.vsu.ru">https://biblioclub.lib.vsu.ru</a>
15.	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" <a href="https://rucont.ru">https://rucont.ru</a>
16.	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.ru</a>
17. 0	Виртуальная обучающая среда Moodle < <a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> >

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Общий физический практикум : "Атомный эмиссионный спектральный анализ" [Электронный ресурс] : учебное пособие : [для студ. 3 курса физ. фак. ; для направления 011800 - Радиофизика] / Воронеж. гос. ун-т; [сост. : О.В. Овчинников и др.] .— Электрон. текстовые и граф. дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-31.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-31.pdf</a> >.
2.	Лабораторный практикум по атомной физике: "Атомный эмиссионный спектральный анализ" [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов : [для проведения лаб. практикума по "Атомной физике" у студ. 3 курса физ. фак., обуч. по направлениям "Физика" и "Радиофизика" ; для направлений 011800 - Радиофизика, 011200 - Физика] / Воронеж. гос. ун-т; [сост. : О.В. Овчинников и др.] .— Электрон. текстовые и граф. дан. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .—

	<URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-175.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-175.pdf</a> >.
3.	Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы обучающимися в бакалавриате по направлению "Физика" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4-го курса направления 03.03.02 Физика] / Сост.: Л.Ю. Леонова, Л.В. Титова ; Воронеж. гос. ун-т . – Электрон. текстовые дан. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019.
4.	Электронный курс для дистанционного обучения «Практикум по атомной эмиссионной спектроскопии» <a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6376">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6376</a>

## **17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: 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; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лабораторного занятия: 1. Формулировка целей занятия и ответы на вопросы студентов. 2. Ознакомление с теоретической основой работы, основными приемами и техникой безопасности при работе с используемыми приборами и реактивами. 3. Выполнение экспериментальной части работы. 4. Обработка экспериментальных результатов и предоставление их для предварительной проверки преподавателю.

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде самостоятельных и контрольных работ, докладов и рефератов).

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOC ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

## **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Учебные и учебно-научные лаборатории кафедры оптики и спектроскопии для проведения лабораторных занятий: генератор активизированной дуги переменного тока и высоковольтной искры ИВС-29 с поджигом высокочастотным разрядом и напряжением порядка 30000 В; спектрометр с плоской дифракционной решеткой PGS-2 с ПЗС-линейкой фирмы ToshibaTCD1304AP; маркерная доска, компьютер, проектор, экран, учебная и методическая литература.

Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации

Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

## 19. Фонд оценочных средств:

### Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ПК-1.2, ПК-1.3	<p>знать: физические, аппаратные и методические основы современного спектрального анализа;</p> <p>уметь: применять на практике современные спектральные приборы (как призмные, так и дифракционные), источники света и приемники излучения оптического диапазона;</p> <p>владеть: основными методами решения типовых задач спектрального анализа.</p>	Пункты 1-11	Отчет о выполнении лабораторной работы
<b>Промежуточная аттестация (зачет)</b>			КИМ

### Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами геофизических явлений;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение использовать знания об опасных космических и гелиофизических явлениях;
- 4) владение современными способами атомного эмиссионного анализа.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
---------------------------------	--------------------------------------	--------------

Обучающийся в полной мере владеет теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания для решения практических задач в области программирования, может при этом допускать незначительные ошибки.	<i>Повышенный и базовый уровень</i>	<i>зачтено</i>
Обучающийся не владеет теоретическими основами дисциплины, не способен применить их на практике, допускает ошибки при написании программ.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Не зачтено</i>

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Перечень вопросов зачету:**

1. Строение атома. Сериальная структура атомных спектров. Излучение и поглощение квантов света атомами.
2. Спектральные линии и их характеристики. Абсолютная и относительная интенсивности спектральных линий.
3. Основные этапы спектрально-аналитического процесса для качественного спектрального анализа (выбор линий; выбор источника возбуждения, спектрального прибора; регистрация спектра; методы введения вещества в разрядный промежуток).
4. Физические основы и техника возбуждения атомных эмиссионных спектров. Принцип работы генератора ИВС-29.
5. Спектральные приборы для атомных эмиссионных спектров (принцип строения, осветительная часть, характеристики). Классификация спектральных приборов.
6. Дифракция Фраунгофера. Построение и принцип действия спектрометра с плоской дифракционной решеткой PGS-2.
7. Детектирование атомных эмиссионных спектров. Принцип действия приборов с зарядовой связью.
8. Основные этапы получения и расшифровки атомных эмиссионных спектров для качественного спектрального анализа.
9. Случайные и систематические ошибки эмиссионного анализа.
- 10 Чувствительность спектрального анализа. Предел обнаружения. Надежность. Применение эмиссионного спектрального анализа.

**19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности (выполнение лабораторных работ). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. Практический уровень полученных знаний оценивается при сдаче отчетов по лабораторным работам.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.