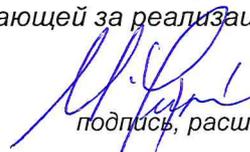


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
теоретической физики
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)
подпись, расшифровка подписи

02.07.2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.02 – Фотопроцессы в лазерном поле

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 – физика

2. Профиль подготовки/специализация: Физика лазерных и спектральных технологий

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 - теоретической физики

6. Составители программы: Мармо Сергей Иванович

ФИО

д.ф.-м.н.

доцент

ученая степень

ученое звание

marmo@phys.vsu.ru

физический

e-mail

факультет

теоретической физики

Кафедра

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 27.06.2018 г. протокол № 6
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2021-2022

Семестр(-ы): 8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью курса является формирование у студентов ясной картины о теории элементарных атомных фотопроцессов в лазерном поле и методах их теоретического описания. В ходе изучения дисциплины студент должен овладеть элементарной теорией атомных фотопроцессов, в части их применения к задачам о взаимодействии атомных систем с лазерным излучением.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Входит в раздел дисциплин по выбору Б1.В.ДВ. Для освоения спецкурса необходимы знания по курсам квантовой механики и электродинамики.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-4	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	<p>знать: основные положения теории взаимодействия атомных систем с электромагнитным излучением</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о методах исследования воздействия электромагнитной волны на атомы, применять полученные знания для освоения решения профессиональных задач;</p> <p>иметь навыки практических расчетов атомных восприимчивостей и сечений фотопроцессов</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 3 / 108.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – экзамен.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		8		...
Аудиторные занятия	24	24		
в том числе: лекции	24	24		
практические				
лабораторные				
Самостоятельная работа	48	48		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – 36 час.)	36	36		
Итого:	108	108		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Нерелятивистская теория атома водорода	Спектр и волновые функции водорода и водородоподобных ионов. Решение кулоновского уравнения Шредингера в сферических и параболических координатах.
1.2	Взаимодействие атома с электромагнитным полем	Теория возмущений по полю электромагнитной волны. Формы оператора взаимодействия электрона с полем.
1.3	Однофотонные процессы в атоме водорода	Однофотонное поглощение и однофотонная ионизация. Формулы Гордона.
1.4	Кулоновская функция Грина	Мультипольное разложение функции Грина. Представления радиальной функции Грина: спектральное разложение, интегральные представления, штурмовское разложение. Функция Грина в параболических координатах.
1.5	Аналитический расчет двухфотонных процессов	Поляризуемость атома водорода. Двухфотонная ионизация. Двухфотонные формулы Гордона.
1.6	Методы численных расчетов многофотонных процессов	Многофотонные процессы при частотах, превышающих порог ионизации. Исследование сходимости штурмовских рядов и их аналитическое продолжение на область положительных энергий.
1.7	Радиационные переходы в непрерывном спектре кулоновского потенциала	Кулоновское тормозное излучение: классическая и квантовая теории. Формула Зоммерфельда и ее предельные случаи.
1.8	Двухфотонные и многофотонные переходы в кулоновском континууме	Двухфотонное тормозное излучение и поглощение. Поправки к резерфордскому рассеянию. Борновское приближение для многофотонных процессов.
2. Практические занятия		
3. Лабораторные работы		

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Нерелятивистская теория атома водорода	2			2	4
2	Взаимодействие атома с электромагнитным полем	2			4	6
3	Однофотонные процессы в атоме водорода	4			6	10
4	Кулоновская функция Грина	4			6	10
5	Аналитический расчет двухфотонных процессов	4			8	12

6	Методы численных расчетов многофотонных процессов	4			10	14
7	Радиационные переходы в непрерывном спектре кулоновского потенциала	2			8	10
8	Двухфотонные и многофотонные переходы в кулоновском континууме	2			4	6
Итого:		24			48	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к лабораторному занятию, разбирая соответствующий теоретический материал, систематически выполнять домашние задания, не пропускать текущие тестирования по пройденному теоретическому и практическому материалу.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернета, 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	Ландау Л.Д. Теоретическая физика т.3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц - М.: Физматлит, 2016. – 800 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Ландау Л.Д. Теоретическая физика т.4: Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М.: Физматлит, 2006. – 719 с.
3	Киселев В.В. Квантовая механика: курс лекций / В.В.Киселев.— М. : МЦНМО, 2009.— 560 с. https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book_view&book_id=62965
4	Мармо С.И. Многофотонные переходы в кулоновском континууме: диссертация доктора физ.-мат. наук. Воронежск. гос. университет, Воронеж, 2006.
5	Запрягаев С. А. Теория многозарядных ионов с одним и двумя электронами / С. А. Запрягаев, Н. Л. Манаков, В. Г. Пальчиков. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 144 с.
6	Лабзовский Л. Н. Теория атома / Л. Н. Лабзовский. – М. : Наука, 1996. – 304 с.
7	Крыловецкий А. А. Обобщенные штурмовские разложения кулоновской функции Грина и двухфотонные формулы Гордона / А. А. Крыловецкий, Н. Л. Манаков, С. И Мармо. – ЖЭТФ. – 2001. – Т.119. – С. 45-70.
8	Крыловецкий А. А. Двухфотонные тормозные процессы в атомах: поляризационные эффекты и аналитические расчеты для кулоновского потенциала / А. А. Крыловецкий, Н. Л. Манаков, С. И Мармо. – ЖЭТФ. – 2002. – Т.122. – С. 1168-1197.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	http://www.lib.vsu.ru/
10	https://biblioclub.lib.vsu.ru/
11	https://lanbook.lib.vsu.ru/

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

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	Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 1. 3-е издание / И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2009. – 107 с.
2	Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 2. 3-е издание, исправленное и дополненное / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манаков, М.В.Фролов // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2013. – 76 с.
3	Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 3. 3-е издание / И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков, М.В. Фролов // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2008. – 87 с.

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

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, дисплейный класс, электронные средства презентации.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. 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 посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении	Знать: основные положения квантовой теории взаимодействия электромагнитного излучения с атомными системами.	Разделы 1.1-1.2	Текущая аттестация №1 (собеседование)
	Уметь: использовать в профессиональной деятельности методы и основные результаты теории взаимодействия лазерного излучения с атомами, применять их для освоения профильных дисциплин	Разделы 1.3, 1.4, 1.6, 1.7	Текущая аттестация №2 (собеседование)

профильных физических дисциплин	и решения профессиональных задач		
	Владеть: практическими методами расчета атомных восприимчивостей и сечений фотопроцессов	Разделы 1.5, 1.8	Практическое задание
Промежуточная аттестация			КИМ

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

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

Необходимо знать основные положения теории взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, уметь записать амплитуды и сечения основных фотопроцессов, владеть техникой отделения угловых переменных в амплитудах процессов и основными приемами расчета кулоновских матричных элементов.

Критерии оценок:

Отлично – подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы.

Хорошо – подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками.

Удовлетворительно – неудовлетворительные ответы на один из основных и некоторые дополнительные вопросы.

Неудовлетворительно – плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на большинство поставленных вопросов.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 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

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Спектр и волновые функции атома водорода (в сферических координатах).
2. Амплитуды и вероятности однофотонных переходов в одноэлектронном атоме.
3. Однофотонные формулы Гордона для возбуждения и ионизации атома водорода.

4. Мультипольное разложение кулоновских функций непрерывного спектра с асимптотикой расходящихся (сходящихся) волн.
5. Мультипольное разложение функции Грина частицы в центральном поле.
6. Разложение радиальной кулоновской функции Грина по функциям Штурма.
7. Штурмовское разложение радиальной кулоновской функции Грина со свободными параметрами.
8. Поляризуемость атома водорода.
9. Двухфотонные формулы Гордона для ионизации.
10. Многофотонные процессы в атоме водорода при частотах, превышающих порог ионизации.
11. Тормозное излучение в центральном поле: классическая теория.
12. Кулоновское тормозное излучение: классическая теория.
13. Кулоновское тормозное излучение высоких и низких частот: классическая теория.
14. Поляризация классического тормозного излучения.
15. Тормозное излучение в центральном поле: квантовая теория.
16. Формула Зоммерфельда для кулоновского тормозного излучения и ее предельные случаи.
17. Предельные случаи формула Зоммерфельда.
18. Кулоновское тормозное излучение в квазиклассической области.
19. Однофотонные переходы в континууме между состояниями с определенным орбитальным моментом.
20. Функция Грина в параболических координатах.
21. Амплитуда и сечение двухфотонного тормозного излучения в кулоновском поле.
22. Борновское приближение для многофотонных процессов.

19.3.2 Перечень практических заданий

19.3.4 Тестовые задания

1. Классификация однофотонных процессов по типам начального и конечного состояний. Диаграммы процессов.
2. Классификация двухфотонных процессов по типам начального и конечного состояний. Диаграммы процессов. Каноническое распределение Гиббса (классическое) и его применение к идеальному газу (расчет энтропии, энергии и уравнения состояния).
3. Формы (калибровки) оператора взаимодействия электрона с электромагнитной волной.
Связь дипольных матричных элементов первого порядка в представлении скорости и координаты.
4. Правило Ферми для сечений фото процессов. Сечение фотоионизации. Нормировка волновой функции непрерывного спектра. Устранение дельта-функции. Квантовое каноническое распределение (вероятность нахождения в системы в стационарном состоянии и в состоянии с данной энергией, смысл параметров квантового канонического распределения, расчет термодинамических характеристик системы).
5. Сечение тормозного излучения. Какого типа функции атомного континуума следует использовать для начального и конечного состояний?

6. Кулоновские волновые функции дискретного спектра. Радиальная и угловая функции.
7. Радиальная кулоновская функция континуума с определенным орбитальным моментом.
8. Кулоновские волновые функции континуума с определенным импульсом и асимптотикой расходящихся (сходящихся) волн на бесконечности. Спектральная плотность теплового равновесного излучения. Закон Стефана --- Больцмана.
9. Вырожденная гипергеометрическая функция: степенной ряд, интегральное представление, преобразование Куммера, интеграл от степени, экспоненты и ${}_1F_1$.
10. Гипергеометрическая функция: степенной ряд, символ Похгаммера, интегральное представление.
11. Интеграл от трех сферических функций.
12. Матричные элементы от оператора ∇ .
13. Действие оператора ∇ на кулоновские функции.
14. Расчет радиальных матричных элементов связанно-связанных переходов в представлении скорости.
15. Мультипольное разложение функций $\Psi_p^{(+)}(\mathbf{r})$ и $\Psi_p^{(-)}(\mathbf{r})$.

19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

19.3.5 Темы курсовых работ

19.3.6 Темы рефератов

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(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные); тестирования**. 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 и практическое задание, позволяющее оценить степень умения решать практические задачи. При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.