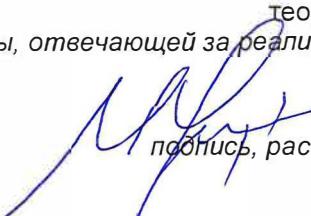


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

..2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
Б1.В.09 – Лазерная физика

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

03.03.02 – физика

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

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная (дневная)

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

**6. Составители программы** Фролов Михаил Владимирович

ФИО

д.ф.-м.н.

доцент

ученая степень

ученое звание

**7. Рекомендована:** НМС физического факультета от 17.06.2022 г. протокол № 6  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

**8. Учебный год:** 2025–2026      **Семестр(ы)/Триместр(ы):** 7

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

Курс "Лазерная физика" входит в образовательный цикл студентов бакалавров физического факультета, обучающихся по направлению "Физика лазерных и спектральных технологий". В рамках данного цикла студентов знакомят с основными задачами современной лазерной физики. Цель настоящего курса заключается в формировании набора знаний о существующих и развивающихся в настоящее время задачах современной лазерной физики, а также методах их решения, в частности в рамках курса рассматриваются общие проблемы генерации интенсивного лазерного излучения,дается анализ общей задачи о нелинейной ионизации среды и непертурбативном преобразовании частот, генерации сверхкоротких лазерных импульсов,дается качественный обзор эффектам в сверхсильных и интенсивных лазерных полях. Курс представляется интересным как для экспериментатора, так и теоретика: экспериментатор знакомится с теоретическими основами лазерной физики, а теоретик получает представление о теоретических методах и подходах в современной лазерной физике.

## **10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина "Лазерная физика" относится к вариативной части блока дисциплин направления подготовки 03.03.02 «Физика» с профилем подготовки «Теоретическая физика». Изучение дисциплины проводится на базе прочитанных общих курсов по теоретической физике, математического анализа и линейной алгебры. Необходимо также знания о методах описания квантовых систем во внешних монохроматических полях и в суперпозиции стационарных электрического и магнитного полей и поля нескольких монохроматических излучений. В рамках данного курса рассматриваются современные задачи лазерной физики и способы их анализа.

## **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
ПК-1	Способность анализировать существующие технические решения для реализации параметров разрабатываемых лазерных устройств	ПК-1.1	Демонстрация глубоких современных знаний в области технологий приборов квантовой электроники и фотоники на основе наногетероструктур	Знать: основные задачи современной лазерной физики; Уметь: использовать в профессиональной деятельности методы решения задач лазерной физики;
		ОПК-1.2	Способность критически оценивать и интерпретировать новейшие достижения теории и практики физических исследований для решения задач в области лазерных технологий	Владеть (иметь навык(и)): практическими навыками решения задач современной лазерной физики.
		ОПК-1.3	Умение осуществлять поиск лазеров с близкими характеристиками в литературе и в других современных источниках информации	

			согласно составленному плану, определять по результатам анализа литературных данных и других источников информации конструкции и технологии изготовления разрабатываемых лазерных устройств	
ПК-2	Способность участвовать в разработке технологических маршрутов при изготовлении новых моделей приборов квантовой электроники	ПК-2.1	Знание основных методов физических исследований в области лазерных технологий	
		ПК-2.2	Владение умениями в области разработки технологических маршрутов при изготовлении новых моделей приборов квантовой электроники	
		ПК-2.3	Умение анализировать возможности реализации расчетных параметров в различных вариантах конструкции разрабатываемых лазерных устройств	

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

**Форма промежуточной аттестации** экзамен

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		7 семестр	
Аудиторные занятия	72	72	
в том числе:	лекции	36	36
	групповые консультации	18	18
	лабораторные	18	18
Самостоятельная работа	72	72	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)	36	Экзамен – 36	
Итого:	180	180	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Процессы линейного и нелинейного взаимодействия лазерного излучения с веществом. Сдвиг и уширение атомных уровней.	Взаимодействие лазерного излучения с атомными системами: гамильтониан, правила отбора симметрии. Поляризация атома лазерным излучением. Поляризуемость и линейный по интенсивности сдвиг уровней. Мнимая часть поляризуемости и сечение фотоионизации. Нелинейные по интенсивности лазерного излучения поправки к сдвигу атомных уровней лазерным излучением. Связь мнимой части с многофотонными диссипативными процессами в сильном лазерном поле.	–
1.2	Нелинейная ионизация. Стабилизация.	Надпороговая ионизация. Импульсные распределения фотоэлектронов. Теория Келдыша. Вклад кулоновского поля в формировании импульсного распределения. Стабилизация. Приближение Крамерса-Хененбергера. Долина смерти. Возбуждение ридберговских состояний.	–
1.3	Генерация гармоник, нелинейное смешивание частот в атомах, генерация терагерцевого излучения.	Генерация высоких гармоник, обобщенные восприимчивости. Генерация широкополосного излучения. Генерация терагерцевого излучения.	–
1.4	Аттосекундная физика.	Аттосекундная физика. Стрик камера. Нелинейная ионизация и генерация гармоник в сильном ИК поле и слабом ФУВ импульсе. Время задержки вылета фотоэлектронов. Многоэлектронные эффекты в процессах генерации гармоник и нелинейной ионизации.	–
1.5	Охлаждение атомных частиц резонансным лазерным излучением и захват электромагнитной ловушкой.	Торможение атомных частиц. Оптическая патока. Доплеровское торможение. Предел доплеровского торможения. Ловушки для нейтральных атомов. Ловушки с синей отстройкой частоты. Магнито-оптические ловушки. Квантование движения в ловушке. Оптические решетки. Испарительное охлаждение.	–
1.6	Стандарты частоты и времени на нейтральных атомах и ионах	Захват атомов штарковским потенциалом решетки. Влияние высших порядков нелинейного и мультипольного взаимодействия с полем оптической решетки на неопределенность стандарта.	–
<b>2. Практические занятия</b>			
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
2.1	Процессы линейного и нелинейного взаимодействия лазерного излучения с веществом. Сдвиг и уширение атомных уровней.	Метод потенциала радиуса. Общие уравнения на волновую функцию и комплексную квазиэнергию. Решение уравнения в рамках теории возмущений. Поляризуемость и гиперполяризуемость слабосвязанного электрона. Одно- и двух-фотонные сечения фотораспада.	–
2.2	Нелинейная ионизация. Стабилизация.	Расчет импульсного распределения фотоэлектронов в модели потенциала нулевого радиуса. Квазиклассический учет кулоновского потенциала в задаче о фотоионизации системы. Вычисление потенциала Крамерса-Хененбергера	–

		для одномерной потенциальной ямы.	
2.3	Генерация гармоник, нелинейное смешивание частот в атомах, генерация терагерцового излучения.	Адиабатическое приближение для потенциала нулевого радиуса. Амплитуда генерации гармоник. Квазиклассическое приближение для генерации высоких гармоник. Генерация «нулевой» гармоники в сильном лазерном поле.	–
2.4	Аттосекундная физика.	Аттосекундный импульс: характеристики. Аттосекундная ионизация. Генерация гармоник аттосекундным импульсом.	–
2.5	Охлаждение атомных частиц резонансным лазерным излучением и захват электромагнитной ловушкой.	Расчет доплеровского торможения. Оптические ловушки для нейтральных атомов. Оптические решетки. Испарительное охлаждение.	–
2.6	Стандарты частоты и времени на нейтральных атомах и ионах	Захват атомов штарковским потенциалом решетки.	–

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Групповые консультации	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Процессы линейного и нелинейного взаимодействия лазерного излучения с веществом. Сдвиг и уширение атомных уровней.	4	2	2	8	16
2	Нелинейная ионизация. Стабилизация.	8	4	4	16	32
3	Генерация гармоник, нелинейное смешивание частот в атомах, генерация терагерцового излучения.	8	4	4	16	32
4	Аттосекундная физика.	8	4	4	16	32
5	Охлаждение атомных частиц резонансным лазерным излучением и захват электромагнитной ловушкой.	4	2	2	8	16
6	Стандарты частоты и времени на нейтральных атомах и ионах	4	2	2	8	16
Итого:		36	18	18	72	144

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

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к практическому 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 интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Демтрёдер, Вольфганг. Современная лазерная спектроскопия : [учебное пособие] / В. Демтрёдер ; пер. с англ. М.В. Рябининой, Л.А. Мельникова, В.Л. Дербова ; под ред. Л.А. Мельникова .— Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2014 .— 1071 с

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I Поглощение лазерного излучения в веществе / Конспект лекций под редакцией В.П. Вейко - СПб ГУ ИТМО, 2008 – 143 с.
3	Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть II / Учебное пособие под редакцией В.П. Вейко – СПб ГУ ИТМО, 2014 – 181 с.
4	Летохов В.С. Нелинейные селективные фотопроцессы в атомах и молекулах / В.С. Летохов – Москва: Наука, 1983. – 408 с.
5	Делоне Н.Б. Нелинейная ионизация атомов лазерным излучением / Н.Б. Делоне – М.: Физматлит, 2001. — 312 с.

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

№ п/п	Ресурс
6	Metcalf H.J. Laser cooling and trapping of neutral atoms / H.J. Metcalf and P. van der Straten // "Optics Encyclopedia" of Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaABoschstrasse 12D-69469 Weinheim, Germany <a href="http://www.interscience.wiley.com/reference/optics">www.interscience.wiley.com/reference/optics</a>

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

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

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

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, электронные средства для представления презентаций.

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

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1.1-1.6, 2.1-2.6	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Аттестации 1-2, практические задания
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен			Список вопросов, выносимых на экзамен	

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

### **20.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Текущая аттестация №1 (тестовые задания)**

1. Напишите гамильтониан атомной системы в сильном лазерном поле. Напишите правила дипольного отбора исходя из симметрии начального состояния.
2. Как связана мнимая часть поляризуемости и сечение фотоионизации.
3. Как связана мнимая часть гиперполяризуемости с сечением двухфотонной ионизации.
4. Что такое надпороговая ионизация. Какими симметриями обладает импульсное распределение фотоэлектронов в линейно поляризованном поле.
5. В чем заключается эффект стабилизации.
6. Напишите преобразование Крамерса-Хененбергера.

#### **Текущая аттестация №2 (тестовые задания)**

1. В чем заключается эффект генерации высоких гармоник.
2. Опишите плазменную модель для генерации терагерцового излучения.
3. Что такое стрик камера.
4. Опишите основные многоэлектронные эффекты в ионизации и генерации высоких гармоник.
5. Что такое оптическая патока?
6. Дайте определение магнито-оптической ловушки.

#### **Перечень практических заданий**

1. Вычислить поляризуемости и гиперполяризуемости в модели потенциала нулевого радиуса.
2. Вычислить амплитуда нелинейного фотоотрыва для потенциала нулевого радиуса.
3. Вычислить квазиклассическую кулоновскую поправку к импульсному распределению фотоэлектронов.
4. Выполнить преобразование Крамерса-Хененбергера.
5. Получить амплитуду генерации гармоник в модели потенциала нулевого радиуса.
6. В рамках плазменной модели рассчитать интенсивность генерации терагерцового излучения.
7. Оценить Брейт-Вигнеровское время задержки для модели потенциала нулевого радиуса.

### **20.2. Промежуточная аттестация**

#### **Перечень тем, выносимых на экзамен**

1. Взаимодействие лазерного излучения с атомными системами: гамильтониан, правила отбора симметрии.
2. Поляризация атома лазерным излучением. Поляризуемость и линейный по интенсивности сдвиг уровней. Мнимая часть поляризуемости и сечение фотоионизации.
3. Нелинейные по интенсивности лазерного излучения поправки к сдвигу атомных уровней лазерным излучением. Связь мнимой части с многофотонными диссипативными процессами в сильном лазерном поле.
4. Надпороговая ионизация. Импульсные распределения фотоэлектронов.
5. Вклад кулоновского поля в формировании импульсного распределения.
6. Стабилизация. Приближение Крамерса-Хененбергера. Долина смерти.
7. Возбуждение ридберговских состояний.
8. Генерация высоких гармоник, обобщенные восприимчивости.
9. Генерация широкополосного излучения.
10. Генерация терагерцевого излучения.
11. Стрик камера. Нелинейная ионизация в сильном ИК поле и слабом ФУВ импульсе. Время задержки вылета фотоэлектронов.
12. Многоэлектронные эффекты в процессах генерации гармоник и нелинейной ионизации.
13. Торможение атомных частиц. Оптическая патока.
14. Доплеровское торможение. Предел доплеровского торможения.
15. Ловушки для нейтральных атомов. Ловушки с синей отстройкой частоты.
16. Магнито-оптические ловушки.
17. Квантование движения в ловушке.
18. Оптические решетки. Испарительное охлаждение.
19. Захват атомов штарковским потенциалом решетки.
20. Влияние высших порядков нелинейного и мультипольного взаимодействия с полем оптической решетки на неопределенность стандарта.

Экзамен проводится в виде устного ответа на экзаменационный билет содержащий два вопроса и практическую задачу.

Оценка удовлетворительно выставляется обучающемуся, если он дал неудовлетворительный ответ на один из основных вопросов билета и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала, отсутствие решенной задачи

Оценка хорошо выставляется обучающемуся, если он дал подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала, задача решена частично.

Оценка отлично выставляется обучающемуся, если он дал подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом, задача решена самостоятельно без каких-либо ошибок.