

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики

(Фролов М.В.)

02.07.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.04.01 – Лазерная физика

*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: Фролов Михаил Владимирович

<u>д.ф.-м.н.</u>	<u>ФИО</u>
<u>ученая степень</u>	<u>доцент</u>
<u>frolov@phys.vsu.ru</u>	<u>ученое звание</u>
<u>е-mail</u>	<u>физический</u>
<u>теоретической физики</u>	<u>факультет</u>
<u>Кафедра</u>	

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 27.06.2018 г., протокол № 6  
(наименование recommending structure, date, protocol number,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2021-2022

Семестр(-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 непertурбативном 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 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 задачи современной лазерной физики;</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности методы решения задач лазерной физики;</p> <p>владеть (иметь навык(и)): практическими навыками решения задач современной лазерной физики.</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	
		7	

Аудиторные занятия	34	34		
в том числе:				
лекции				
практические				
лабораторные	34	34		
Самостоятельная работа	38	38		
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час)	36	36		
Итого:	108	108		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
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 терагерцового излучения.	Генерация высоких гармоник, обобщенные восприимчивости. Генерация широкополосного излучения. Генерация терагерцового 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.

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Процессы линейного и нелинейного взаимодействия лазерного излучения с веществом.			6	6	12

	Сдвиг и уширение атомных уровней.					
2	Нелинейная ионизация. Стабилизация.			6	6	12
3	Генерация гармоник, нелинейное смешивание частот в атомах, генерация терагерцового излучения.			6	6	12
4	Аттосекундная физика			6	6	12
5	Охлаждение атомных частиц резонансным лазерным излучением и захват электромагнитной ловушкой.			5	7	12
6	Стандарты частоты и времени на нейтральных атомах и ионах.			5	7	12
	Итого:			34	38	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 готовиться к лекционным и лабораторным занятиям, 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	<i>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</i>

б) дополнительная литература:

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

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

№ п/п	Ресурс
6	<i>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 &amp; Co. KGaABoschstrasse 12D-69469 Weinheim, Germany <a href="http://www.interscience.wiley.com/reference/optics">www.interscience.wiley.com/reference/optics</a></i>

\* 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.)

**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, электронные средства для представления презентаций, компьютерный класс.

**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 профильных физических дисциплин	Знать: основные задачи современной лазерной физики;	Разделы 1.1-1.6	Текущая аттестация №1 (тестовые задания)
	Уметь: использовать в профессиональной деятельности методы решения задач лазерной физики;	Разделы 3.1-3.6	Текущая аттестация №2 (тестовые задания)
	Владеть: практическими навыками решения задач современной лазерной физики.	Разделы 3.1-3.6	Практические задания
<b>Промежуточная аттестация</b>			<b>КИМ</b>

\* 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**

Овладение основными приемами теоретической лазерной физики. Умение численно и аналитически решать типовые задачи лазерной физики, хорошо разбираться в спектре основных задач лазерной физики.

Критерии оценок:

Отлично – студент в состоянии самостоятельно решить задачу лазерной физики с использованием методов и подходов теоретической лазерной физики. Четко давать определения основным фундаментальным процессам в интенсивном лазерном поле и знать основные принципы в описании этих явлений.

Хорошо – студент при незначительной помощи преподавателя может решить задачу лазерной физики с использованием методов и подходов теоретической лазерной физики. Студент понимает основные фундаментальные процессы в интенсивном лазерном поле.

Удовлетворительно – студент удовлетворительно ориентируется в решении задачи лазерной физики с использованием методов и подходов теоретической лазерной физики. Помощь преподавателя в решении задачи значительна.

Неудовлетворительно – студент не знает материал курса.

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 зачету (КИМ):**

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 полк и слабом ФУВ импульсе. Время задержки вылете 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 шариковым потенциалом решетки.
20. Влияние высших порядков нелинейного и мультипольного взаимодействия с полем оптической решетки на неопределенность стандарта.

### **19.3.2 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.

### **19.3.3 Текущие аттестации №1 – №2 (тестовые задания)**

#### **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.

### **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.