

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Федеральный исследовательский центр**  
**«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»**  
**(ИОФ РАН)**

**УТВЕРЖДАЮ**



Директор ИОФ РАН,  
И.О. Подпись

С.В. Гарнов

202\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Взаимодействие лазерного излучения с веществом**

Направление подготовки	03.06.01 Физика и астрономия
Специальность	1.3.19 (01.04.21) Лазерная физика 1.3.8 (01.04.07) Физика конденсированного состояния

г. Москва  
2022 год

Семестр	Трудо- емкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В интерактивном режиме, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/К П
1	1	36	18	0	0	0	18	0	3
Итого	1	36	18	0	0	0	18	0	3

## АННОТАЦИЯ

Курс «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» разработан для дополнения представления о фундаментальных фотофизических процессах, происходящих в веществе при воздействии на него интенсивного электромагнитного излучения с различными длинами волн и временными параметрами. Знание основных механизмов и закономерностей взаимодействия лазерного излучения с веществом необходимо для формирования фундаментальных представлений о происходящих физических процессах и для последующего использования теоретических знаний в прикладных задачах, связанных с лазерами и их применениями в науке и технологии.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения курса «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» являются формирование у студентов фундаментальных представлений о важнейших физических процессах, происходящих при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, а также, с учетом последних научных достижений, формирование практических навыков для прикладного использования полученных теоретических знаний.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Содержание программы курса «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» представляет собой развитие и углубление полученных ранее знаний в области физики. В нем используются основные понятия и представления, отвечающие теоретической базе, освоенной аспирантами при изучении дисциплин в рамках бакалавриата и магистратуры.

Курс «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» входит в число базовых при подготовке современных специалистов в области лазерной физики и физики конденсированного состояния.

Для освоения данной дисциплины необходимо знание общих курсов физики, ряда разделов теоретической физики и физики конденсированного состояния. Данный курс является базой для осознанного использования полученных знаний аспирантами при выполнении диссертационных исследований по взаимодействию лазерного излучения с веществом, а также для освоения практических навыков работы с лазерной техникой.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные (УК) и (или) общепрофессиональные компетенции (ОПК):

Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в научной и инженерной деятельности, связанной с лазерной физикой и физикой конденсированного состояния, проектированием и технологиями производства элементов лазерной техники.	<p>З-ОПК-1–Знать: основные законы научных и инженерных дисциплин и методы математического анализа.</p> <p>У-ОПК-1–Уметь: выявлять сущность научной проблемы; формулировать цели и задачи исследования, определять пути решения, давать оценку эффективности выбора.</p> <p>В-ОПК-1–Владеть: современными методами, способами и приемами теоретических и экспериментальных исследований для решения научных, физических и общих математических задач.</p>
ОПК-2–Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики изучаемой системы и поставленной задачи.	<p>З-ОПК-2 –Знать: особенности методов и средств исследований и проведения измерений, необходимых для решения поставленной задачи.</p> <p>У-ОПК-2 –Уметь: формулировать цель и задачу исследований; использовать профессионально-профилированные знания в решении поставленной задачи; подбирать оборудование и комплектующие, необходимые для проведения исследований; разрабатывать методику исследований; обрабатывать и анализировать результаты исследований.</p> <p>В-ОПК-2 –Владеть: навыками исследований и необходимых измерений; основными методами и программами обработки и оформления полученных результатов.</p>
УК-1–Способен осуществлять анализ различных ситуаций, основываясь на системном подходе, разрабатывать стратегию действий.	<p>З-УК-1–Знать: методы системного анализа и оценки современных достижений в выбранной области исследований, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и научных задач в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У-УК-1 –Уметь: применять методы системного подхода, анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач; разрабатывать стратегию действий, принимать решения для реализации и оценивать потенциальные варианты реализации той или иной стратегии.</p>



	В-УК-1 – Владеть: методологией системного анализа различных ситуаций, возникающих в ходе исследований; методиками постановки цели, определения способов их достижения, и разработки стратегий действий.
--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>4 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-6					
	Контрольные мероприятия за 4 Семестр				100	3 (6)	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
З	Зачет

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№	Наименование мероприятия	Начало	Завершение	Полных месяцев
1	Сбор данных, разработка курса «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»	Январь	Февраль	2
2	Согласование курса «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» с отделом аспирантуры ИОФ РАН	Март	Март	1
3	Чтение пилотного курса лекций «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» для аспирантов 2 года обучения по специальности 1.3.19 (01.04.21) «Лазерная физика» и 1.3.8 (01.04.07) «Физика	Апрель	Июнь	3

	конденсированного состояния»			
4	Проведение добровольных контрольных мероприятий по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»	Июнь	Июнь	1
Итого				6

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видеоматериалы
Прз	Презентации
ЭСМ	Электронные справочные материалы

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций, а также самостоятельная работа аспирантов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала и подготовке личных докладов по пройденным темам.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие
ОПК-1	З-ОПК-1	3
	У-ОПК-1	3
	В-ОПК-1	3
ОПК-2	З-ОПК-2	3
	У-ОПК-2	3
	В-ОПК-2	3
УК-1	З-УК-1	3
	У-УК-1	3
	В-УК-1	3

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных аспирантом при выполнении заданий в рамках текущего контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 2-х балльной шкале	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
60-100	«зачет»	Оценка «зачет» выставляется аспиранту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
Ниже 60	«незачет»	Оценка «незачет» выставляется аспиранту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится аспирантам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Принципы лазеров: О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
2. ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ОПТИКА (электронное пособие): Яшунин Д. А., Мальков Ю. А., Бодров С. Б. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 40с.
3. С.А. Ахманов, В.А. Вислоух, А.С. Чиркин, Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М., Физматлит, 1988.
4. В.П. Вейко и др. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). – Общество с ограниченной ответственностью Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2008. – С. 1-312.
5. А.М. Прохоров, В.И. Конов, И. Урсу, Й. Михайлеску Взаимодействие лазерного излучения с металлами. - М.: Наука, 2008



6. С.И. Анисимов, Я.А. Имас, Г.С. Романов, Ю.В. Ходыко Действие излучения большой мощности на металлы.// Под ред. А.М.Бонч-Бруевича и М.А. Ельяшевича. - М.: Наука, 2007.
7. В.П. Быков, Лазерная электродинамика.// М., Физматлит, 2006. –384 с. – ISBN 5-9221-0665-1.
8. Vikhrenko V. (ed.). Heat Transfer: Engineering Applications. – BoD–Books on Demand, 2011.
9. Фортов, Владимир Евгеньевич. Физика высоких плотностей энергии: Научное издание / В. Е. Фортов. - Москва : Физматлит, 2012. - 711 с. - ISBN 978-5-9221-1468-4

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Оптика, А.Н. Матвеев, М.: Высш.школа, 1985
2. Оптика: Учеб.пособие для вузов, Г. С. Ландсберг, М.: Физматлит, 2003
3. Оптика: Учеб.пособие для вузов, Ландсберг Г.С., М.: Наука, 1976
4. Вейко В.П., Либерсон М.Н. Лазерная обработка. - Л.: Лениздат, 1973.
5. Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. и др. Воздействие лазерного излучения на материалы. - М.: Наука, 1989.
6. 4.Делоне Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом . - М.: Наука, 1989.
7. 5.Поверхностные поляритоны /Под ред. В.М. Аграновича и Д.Л. Миллса. - М.: Наука, 1985.
8. Лазеры в технологии. /Под ред. М.Ф.Стельмаха. - М.: Энергия, 1975.
9. ОСНОВЫ АТТОСЕКУНДНОЙ ФИЗИКИ (электронное пособие): Учебное пособие. Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 52с.

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АСПИРАНТОВ**

- По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть общим либо индивидуальным.
- При использовании индивидуальных заданий возможно по усмотрению преподавателя требовать от аспиранта письменный отчет о проделанной работе. С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы применять индивидуальные контрольные вопросы.
- При проверке общих заданий ведутся коллективные обсуждения с аспирантами.
- При составлении программы учебной дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» предполагалось, что аспирант знаком с содержанием основных разделов курсов высшей математики и общей физики.

- В результате освоения данной дисциплины аспирант должен получить представление о современном состоянии лазерной физики, передовых достижениях современной науки и технологии, свойствах лазерного излучения, методах анализа.
- В результате освоения данной дисциплины аспирант должен понимать границы применимости различных теорий и экспериментальных методов, освещающихся в рамках курса, и представлять возможности их использования в реальных условиях, при конкретных практических постановках задач.
- Знания, приобретенные аспирантом при освоении данной дисциплины, необходимы для успешного обучения и сдачи экзамена по специальности.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Методические указания преподавателю для проведения занятий по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»

- На первой лекции необходимо сделать по возможности наиболее детальный обзор содержания курса, показать актуальность курса и дать перечень рекомендованной литературы.
  - При чтении лекций необходимо использовать единую систему обозначений.
  - При последовательном освещении каждой темы перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных результатах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и при необходимости обсудить их коллективно.
  - Внимательно относиться к вопросам аспирантов, при необходимости давать дополнительные подробные пояснения и проводить обсуждения по задаваемым вопросам (здесь возможен выборочный контроль активности аспирантов).
  - При чтении лекций наибольшее внимание следует уделять связи и взаимной последовательности основных рассматриваемых теорий. У аспирантов должны сложиться правильные представления о практических сторонах рассматриваемого материала, о существующих ограничениях применимости рассматриваемых результатов.
  - При чтении лекций необходимо по возможности пользоваться демонстрационным материалом.
  - Перед окончанием лекции необходимо давать рекомендации аспирантам для подготовки к очередным занятиям.
  - На заключительной лекции курса уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе, отметить общность методов информационной оптики и их индивидуальные особенности, возникающие при решении различных конкретных задач.
- Указания по контролю самостоятельной работы аспирантов:
- По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть общим либо индивидуальным.
  - При использовании индивидуальных заданий возможно по усмотрению преподавателя требовать от аспиранта письменный отчет о проделанной работе. С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы применять индивидуальные контрольные вопросы.



- При проверке общих заданий следует вести коллективные обсуждения с аспирантами.

Автор(ы):

Цветков Владимир Борисович, д.ф.-м.н., доцент аспирантуры	
Филатова Серафима Андреевна, к.ф.-м.н., доцент аспирантуры	

Программа обсуждена и одобрена на заседании аспирантской комиссией ИОФ РАН 28 октября 2022 года, протокол №2210-28.

Программа обсуждена и одобрена комиссией по образованию Ученого совета ИОФ РАН 02 ноября 2022 года, протокол №15.

## Приложение 1

### Содержание курса «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»

1. Вводное слово. Программа курса. История. Применение лазерного излучения.
2. Лазерный нагрев и процессы его сопровождающие;
3. Обработка лазерным излучением (резка, сварка, упрочнение материалов, сверление, плавление);
4. Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы;
5. Атом в сильном поле оптической волны (оптический пинцет);
6. Действие лазерного излучения на прозрачные диэлектрики (запись структур в диэлектриках, оптический пробой в диэлектриках и газах, лазерное воздействие на свободные заряды, лазерный нагрев плазмы, LIBS);
7. Взаимодействие излучения с биотканями (биостимуляция, фотохимические реакции, фотодинамическая терапия, тепловые воздействия, коагуляция, нелинейные процессы, фотоабляция/выпаривание, оптические пробой);
8. Разделение изотопов;
9. Охлаждение атомов и кристаллов;
10. Лазерная печать (создание 3D структур, лазерно-индуцированный прямой перенос);
11. Литография (интерференционная, двухфотонная, стереолитография, высокоразрешающая, источники).