

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

_____ В.В. Матросов

“ ____ ” _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Фемтосекундная оптика

Направление подготовки
03.06.01 "Физика и астрономия"

Направленность подготовки
01.04.21 "Лазерная физика"

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2021

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Фемтосекундная оптика» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 3 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования, включая курсы общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, электродинамики и квантовой электроники

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 (базовый этап)	З1 Знать Основные концепции современной фемтосекундной оптики У1 Уметь Работать на современном оборудовании для генерации и измерения фемтосекундных импульсов В1 Владеть Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований лазерных импульсов фемтосекундной длительности
ПК-2 (базовый этап)	З2 Знать Современное состояние исследований в области фемтосекундной оптики У2 Уметь Определять наиболее актуальные направления исследований фемтосекундной лазерной физики В2 Владеть Навыками формулирования задач для членов исследовательской группы

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов - занятия лекционного типа, 18 часов - занятия семинарского типа (семинары и научно-практические занятия)), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе	
		Контактная работа, часов	Самостоятельная

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	работа обучающегося, часов
Распространение фемтосекундного лазерного импульса в среде с дисперсией, Фурье оптика	34	6	6			12	22
Нелинейные эффекты при распространении фемтосекундного лазерного импульса в различных средах	34	6	6			12	22
Фемтосекундные лазеры	22	4	4			8	14
Применение фемтосекундных лазеров для генерации и детектирования терагерцового излучения	12	2	2			4	8
Аттестация по дисциплине: экзамен	6						6
Итого	108	18	18				72

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Распространение фемтосекундного лазерного импульса в среде с дисперсией, Фурье оптика	1. Введение. Временная форма и спектр фемтосекундного (фс) импульса. Понятие фазовой (частотной) модуляции. 2. Вывод уравнения, описывающего динамику фс импульса в среде с дисперсией. Временной и спектральный подход. 3. Распространение гауссова фс импульса без и с частотной модуляцией в линейной среде с «квадратичной» дисперсией. 4. Распространение лазерного импульса с произвольной формой огибающей. Пространственная фокусировка фс импульса. 5. Дифракция фс импульса на решетке. Угловая дисперсия, формирование лазерного импульса со	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос, задачи для самостоятельного решения

		скошенным фронтом. 6. Фурье оптика. Управление формой импульса. Общий подход для расчета стретчеров и компрессоров.		
2	Нелинейные эффекты при распространении фемтосекундного лазерного импульса в различных средах	1. Нелинейные среды, нелинейная поляризация. Керровская нелинейность. Быстрая и релаксационная нелинейности. Фазовая самомодуляция импульса в мгновенных и релаксирующих средах. 2. Стационарная самофокусировка и самофокусировка фс импульса, влияние нестационарности отклика среды на самофокусировку. 3. Ионизационная нелинейность. Ионизационная самокомпрессия фемтосекундных лазерных импульсов. 4. Филаментация фемтосекундных лазерных пучков. Физические эффекты и явления, важные для понимания эффекта филаментации. Свойства филамента.	занятия лекционно го типа, семинарск ого типа	Устный опрос, задачи для самостоятел ьного решения
3	Фемтосекунд ные лазеры	1. Генерация и усиление коротких импульсов. Общая схема короткоимпульсного лазера. 2. Усиление фемтосекундных импульсов (chirped pulse amplification). Виды усилителей. Общая схема фемтосекундного лазерного комплекса для генерации мощных импульсов. Устройство стретчеров и компрессоров для лазерных систем. Контраст в фемтосекундных лазерных системах. 3. Измерение длительности коротких лазерных импульсов. Электронные методы измерений. Оптические методы измерений.	занятия лекционно го типа, семинарск ого типа	Устный опрос, задачи для самостоятел ьного решения
4	Применение фемтосекунд ных лазеров для генерации и детектирован ия терагерцовог о излучения	1. Методы генерация ТГц излучения фемтосекундными лазерными импульсами. 2. Терагцовая спектроскопия с временным разрешением (THz-TDS). Применение ТГц излучения.	занятия лекционно го типа, семинарск ого типа	Устный опрос, задачи для самостоятел ьного решения

4. Образовательные технологии

В ходе изучения дисциплины «Фемтосекундная оптика» предусмотрено использование компьютерных симуляций, а также мастер-классы ведущих ученых и экспертов по эксплуатации и

применению фемтосекундных лазеров.

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения лекций, методы научной дискуссии.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Для самостоятельной работы обучающимся ставятся дополнительные задачи, а также предлагается самостоятельно найти и изучить последние научные публикации по соответствующим темам лекций. Производится опрос и контроль решения поставленных задач.

Вопросы для контроля

1. Методы описания распространения ультракоротких световых импульсов.
2. Фазово-модулированные волновые пакеты.
3. Изменение длительности фемтосекундного импульса с Гауссовым профилем огибающей в среде с дисперсией
4. Условия временной компрессии фазово-модулированных импульсов.
5. Управление формой огибающей импульса линейными фазовыми устройствами (элементы фурье-оптики).
6. Физическая причина нелинейности материальных сред.
7. Нелинейная восприимчивость.
8. Кубичная нелинейная восприимчивость и Керровская добавка к показателю преломления.
9. Фазовая модуляция волнового пакета при распространении в недиспергирующей нелинейной (кубичной) среде.
10. Трансформация спектра волнового пакета в недиспергирующей среде с безинерционной нелинейностью.
11. Распространение ультракороткого волнового пакета в нелинейной диспергирующей среде.
12. Условие временного сжатия импульса в нелинейной диспергирующей среде. Временные солитоны.
13. Стационарная и квазистационарная самофокусировка. Трансформация пространственной структуры волнового пакета при нестационарной самофокусировке.
14. Синхронизация мод как метод получения ультракоротких (фемтосекундных) импульсов.
15. Дисперсионные эффекты в резонаторе лазера. Компенсаторы дисперсии
16. Методы усиления фемтосекундных импульсов.
17. Принцип построения лазерной системы для генерации сверхсильных полей.
18. Методы измерения временных параметров фемтосекундных импульсов.
19. Применения сверхсильных полей в науке и технике.
20. Методы генерации ТГц излучения фемтосекундными лазерными импульсами
21. Терагерцовая временная спектроскопия

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Процедура аттестации: для оценки результатов обучения – индивидуальное собеседование.

Положительное оценивание знаний и умений обучаемого производится в соответствии с критериями компетенций, приведенными в п.6.1., а также на основе решения обучающимся практических задач и модельных ситуаций, предложенных преподавателем.

Зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Обучаемый не менее чем удовлетворительно отвечает на вопросы программы – минимум и основной вопрос, а также на большинство дополнительных вопросов.
Не зачтено	Обучаемый показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Примеры вопросов для экзамена

1. Описание распространения ультракоротких световых импульсов: спектральный и временной подходы. (ПК-1)
2. Связь спектра и длительности оптического импульса при наличии и отсутствии фазовой модуляции. (ПК-1)
3. Распространение фемтосекундного импульса с Гауссовым профилем огибающей в среде с нормальной и аномальной дисперсией. (ПК-1)
4. Фурье оптика фолновых пакетов: способ описания. (ПК-1)
5. Примеры типов нелинейности материальных сред, кубичная (Керровская) нелинейность. (ПК-1)
6. Распространение волнового пакета в недиспергирующей среде с кубичной нелинейностью. (ПК-1)
7. Распространение волнового пакета в нелинейной диспергирующей среде. (ПК-1)
8. Временные солитоны. (ПК-1)
9. Стационарная и квазистационарная самофокусировка. (ПК-1)
10. Принципиальная схема фемтосекундного лазера. (ПК-1)
11. Компенсация дисперсии в резонаторе лазера. (ПК-1)
12. Методы усиления фемтосекундных импульсов. (ПК-2)
13. Методы длительности фемтосекундных импульсов. (ПК-2)
14. Сверхсильные поля в науке и технике. (ПК-1)
15. Схемы генерации фирокополосного терагерцового излучения фемтосекундными лазерными импульсами. (ПК-1)
16. Терагерцовая временная спектроскопия. (ПК-1)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Крюков П. Г., «Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики», Физматлит, 2008.
2. С.А. Ахманов, В.А. Высолюх, А.С. Чиркин, Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М.: Наука, 1988.
3. Яшунин Д. А., Мальков Ю. А., Бодров С.Б. «Фемтосекундная оптика» Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 40 стр. 2014.

<http://www.unn.ru/pages/ranking/method/fem.pdf>

4.

б) дополнительная литература:

1. С.В. Чекалин, В.П. Кандидов, От самофокусировки световых пучков – к филаментации лазерных импульсов // УФН. 2013. Т. 183. Сс. 133-152.
2. Козлов С. А.; Самарцев В. В. «Основы фемтосекундной оптики», Физматлит, 2009.
3. Й.Херман, Б Вильгельми. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. Москва, “Мир”, 1986.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и направленности 01.04.21 Лазерная физика.

Автор _____ Бодров С.Б.

Рецензент _____ Маругин А.В.

Заведующий кафедрой общей физики _____ Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № ____.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: базовые разделы высшей математики, теоретической и лазерной физики.

УМЕТЬ: проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Основные концепции современной лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях лазерной физики	Неполные представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные систематические представления об основных концепциях лазерной физики
УМЕТЬ: Работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании
ВЛАДЕТЬ: Современными	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных	В целом успешное, но не систематическое применение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное и систематическое владение

теоретическими и экспериментальными методами исследований		теоретических и экспериментальных методов исследований	современных теоретических и экспериментальных методов исследований	применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	современными теоретическими и экспериментальными методами исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но не систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Успешное и систематическое владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке

ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: основы лазерной физики.

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Современное состояние исследований в области лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Неполные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные систематические представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики

				физики	
УМЕТЬ: Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками формулирования задач для членов исследовательской группы	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но не систематическое применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	Успешное и систематическое владение навыками формулирования задач для членов исследовательской группы