

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ
протокол от "16" января 2024 г. №1

**Рабочая программа дисциплины
Фемтосекундная оптика**

Уровень высшего образования
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Программа аспирантуры
Лазерная физика

Научная специальность
1.3.19 Лазерная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2024 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Фемтосекундная оптика» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

Цель дисциплины – ознакомление с методами генерации фемтосекундных лазерных импульсов, методами исследований сверхбыстрых процессов в веществе; изучение взаимодействия ультракоротких световых импульсов с веществом.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

знать:

- основные концепции современной фемтосекундной оптики;
- современное состояние исследований в области фемтосекундной оптики;

уметь:

- работать на современном оборудовании для генерации и измерения фемтосекундных импульсов;
- определять наиболее актуальные направления исследований фемтосекундной лазерной физики;

владеть:

- современными теоретическими и экспериментальными методами исследований лазерных импульсов фемтосекундной длительности.

3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского	Занятия лабораторного	Консультации	Всего	
Распространение фемтосекундного лазерного импульса в среде с дисперсией, Фурье оптика	24	12				12	12
Нелинейные эффекты при распространении фемтосекундного лазерного импульса в различных средах	24	12				12	12
Фемтосекундные лазеры	16	8				8	8
Применение фемтосекундных лазеров для	4	4				4	4

генерации и детектирования терагерцового излучения							
Промежуточная аттестация	зачет						
Итого	72	36				36	36

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	<p>1. Введение. Временная форма и спектр фемтосекундного (фс) импульса. Понятие фазовой (частотной) модуляции.</p> <p>2. Вывод уравнения, описывающего динамику фс импульса в среде с дисперсией. Временной и спектральный подход.</p> <p>3. Распространение гауссова фс импульса без и с частотной модуляцией в линейной среде с «квадратичной» дисперсией.</p> <p>4. Распространение лазерного импульса с произвольной формой огибающей. Пространственная фокусировка фс импульса.</p> <p>5. Дифракция фс импульса на решетке. Угловая дисперсия, формирование лазерного импульса со скошенным фронтом.</p> <p>6. Фурье оптика. Управление формой импульса. Общий подход для расчета стретчеров и компрессоров.</p>	лекции	-
2.	Нелинейные эффекты при распространении фемтосекундного лазерного импульса в различных средах	<p>1. Нелинейные среды, нелинейная поляризация. Керровская нелинейность. Быстрая и релаксационная нелинейности. Фазовая самомодуляция импульса в мгновенных и релаксирующих средах.</p> <p>2. Стационарная самофокусировка и самофокусировка фс импульса, влияние нестационарности отклика среды на самофокусировку.</p> <p>3. Ионизационная нелинейность. Ионизационная самокомпрессия фемтосекундных лазерных импульсов.</p> <p>4. Филаментация фемтосекундных лазерных пучков. Физические эффекты и явления, важные для понимания эффекта филаментации. Свойства</p>	лекции	-

		филамента.		
3.	Фемтосекундные 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.	лекции	-
4.	Применение фемтосекундных лазеров для генерации и детектирования терагерцового излучения	1. Методы генерация ТГц излучения фемтосекундными лазерными импульсами. 2. Терагерцовая спектроскопия с временным разрешением (THz-TDS). Применение ТГц излучения.	лекции	-

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета. Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,

– оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
Зачтено	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
Не зачтено	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

Типовые контрольные вопросы:

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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература

1. Крюков П. Г., «Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики», Физматлит, 2008.
2. С.А. Ахманов, В.А. Высоух, 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>

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.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
 - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
 - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
 - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки

научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор: С.Б. Бодров

Рецензент: А.В. Маругин

Заведующий кафедрой: М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.