

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма
и аттосекундная физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

к.ф.-м.н., Научный сотрудник физического факультета МГУ Р.В.Волков

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами»

В курсе описывается многообразие методов достижения световых полей с экстремальными энергетическими характеристиками на примерах конкретных лазерных установок. Рассмотрены физические процессы и приведены технические решения, используемые для достижения экстремальных параметров.

Разделы рабочей программы

- 1.** Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
- 2.** Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
- 3.** Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
- 4.** Форма обучения.
- 5.** Язык обучения.
- 6.** Содержание дисциплины.
- 7.** Объем дисциплины
- 8.** Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
- 9.** Текущий контроль и промежуточная аттестация.
- 10.** Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
- 11.** Шкала оценивания.
- 12.** Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
- 13.** Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
- 14.** Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами» реализуется на 2-ом курсе в 4-ом семестре и относится к вариативной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	<p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).	<p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и	<p>ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных</p>

аттосекундной физики (СПК-3).	научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.
-------------------------------	---

4. Форма обучения: очная

5. Язык обучения: русский

6. Содержание дисциплины:

Тема 1. Теоретические основы процесса усиления лазерного излучения.

Введение. Что значит экстремальная мощность и интенсивность. Исторический обзор источников лазер поля с экстремальными на момент создания энергетическими характеристиками. Современное состояние. Описание процесса усиления в 3-х и 4-х уровневых системах. Виды накачки усилителей. Импульсная и непрерывная накачка. Формула Франца-Нодвига для поглощения и усиления. Особенности усиления непрерывного излучения и импульса. Интенсивность насыщения и плотность энергии насыщения. Ограничения на максимальную выходную энергию – фундаментальные аспекты. Искажение и сужение спектра при усилении.

Тема 2. Пикосекундные системы - источники узкополосного излучения с большой энергией.

Используемые активные среды. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Типичные схемы лазерных установок. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии. Самовоздействие. Лазерные системы для управляемого термоядерного синтеза. Проблема пространственной однородности лазерного излучения на мишени и методы ее решения.

Тема 3. Газовые усилители и усилители на красителях

Используемые активные среды. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Усилители на красителях. Эксимерные усилители. Усилителя на углекислом газе высокого давления. Типичные схемы лазерных установок. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии. Самовоздействие и усиленная спонтанная люминесценция.

Тема 4. Теория усиление chirпированных импульсов.

Усиление chirпированных импульсов (CPA). Дисперсия. Стретчеры на основе волокон, призм, дифракционных решеток. Компрессоры на основе призм и решеток. Недостатки компрессоров. Нескомпенсированная дисперсия в системе стретчер-компрессор на основе решеток. Значения остаточных дисперсионных коэффициентов. Влияние на временную форму импульсов. Методы компенсации. Почему CPA не работает с узкополосными источниками. Искажения спектра при CPA.

Тема 5. Твердотельные системы – источники фемтосекундного излучения ближнего и среднего ИК диапазона, использующие процесс усиления chirпированных импульсов (CPA).

Используемые активные среды для ближнего и среднего ИК диапазона. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Типичные схемы лазерных установок. Особенности усиления излучения среднего ИК диапазона. Особенность искажения спектра усиливаемого импульса в процессе CPA. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии и пиковой мощности и частоты повторения. Посткомпрессия.

Тема 6 Проблема усиленной спонтанной люминесценции и методы улучшения контраста импульсов, усиленных методом СРА.

Теоретическое описание процесса усиления спонтанной люминесценции в усилителе. Нелинейная очистка излучения: нелинейное вращение эллипса поляризации, генерация скрещенной волны поляризации (XPW). Примеры лазерных систем, использующих нелинейную очистку излучения.

Тема 7. Усиление chirпированных импульсов в оптических параметрических усилителях (ОРСРА).

Процесс параметрического усиления в нелинейных кристаллах. Типы нелинейных кристаллов используемых в ОРСРА системах. Преимущества – высокий контраст, широкополосность, отсутствие перекачки энергии в тепло. ОРСРА системы для генерации излучения в среднем ИК диапазоне. Комбинирование усиления в твердотельных и параметрических усилителях для генерации мощных импульсов с длительностью порядка одного периода поля. Источники пикосекундных импульсов для накачки параметрических усилителей.

Тема 8. Усилители квази-непрерывного субпикосекундного и фемтосекундного излучения с высокой частотой повторения и высокой средней мощностью работающие.

Активные среды, допускающие усиление импульсов с высокой средней мощностью. Зависимость параметров активных сред от температуры. Усилители с диодной накачкой на основе волокон, монокристаллических волокон, тонких дисков и слабов. Мощные системы на основе накопительных кювет. Методы стабилизации длины кюветы. Преодоление ограничений СРА систем по выходной энергии, средней мощности и ширине полосы усиления за счет интерференции излучения многоканальных усилителей (ICAN и др.).

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемко сть в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах						оательн ая работа студент
		Общая трудоем	в том числе ауд. занятий				ин ап	
			ау	ди	то	рн		
Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами	2	72		36		17	17	36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях, по вопросам, вызывающим затруднения,

проводятся консультации. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	<i>Теоретические основы процесса усиления лазерного излучения</i>	12	4		4	6	Собеседование, опрос
2	<i>Пикосекундные системы - источники узкополосного излучения с большой энергией</i>	8	2	-	2	4	
3	<i>Газовые усилители и усилители на красителях</i>	4	2	-	2	2	
4	<i>Теория усиление чирпированных импульсов.</i>		2		2		
5	<i>Твердотельные системы – источники фемтосекундного излучения ближнего и среднего ИК диапазона, использующие процесс усиления чирпированных импульсов (CPA).</i>		2		2		
6	<i>Проблема усиленной спонтанной люминесценции и методы улучшения контраста импульсов, усиленных методом CPA.</i>		2		2		
7	<i>Усиление чирпированных импульсов в оптических параметрических усилителях (OPCPA).</i>		2		2		
8	<i>Усилители квази-непрерывного субпикосекундного и фемтосекундного излучения с высокой частотой повторения и высокой средней мощностью работающие</i>		2		2		
	Промежуточная аттестация	4				4	экзамен в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Генерация световых полей с экстремальными энергетическими параметрами» проводится в форме зачета. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения	2	3	4	5
<p>ЗНАТЬ: принципы генерации световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности</p> <p>ОПК-3.Б 3-6</p>	Отсутствие знаний принципов генерации световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности	В целом успешные, но не систематические знания принципов генерации световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания принципов генерации световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	Успешные и систематические знания принципов генерации световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности
<p>УМЕТЬ: работать с генераторами световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности</p> <p>ОПК-3.Б У-6</p>	Отсутствие умения работать с генераторами световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности	В целом успешное, но не систематическое умение работать с генераторами световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение работать с генераторами световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	Успешное и систематическое умение работать с генераторами световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности
<p>ВЛАДЕТЬ: методами описания и расчета генераторов световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности ОПК-3.Б В-6</p>	Отсутствие/фрагментарное владение методами описания и расчета генераторов световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности	В целом успешное, но не систематическое владение методами описания и расчета генераторов световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами описания и расчета генераторов световых полей с экстремальным значениями энергии и мощности	Успешное и систематическое владение методами описания и расчета генераторов световых полей с экстремальными значениями энергии и мощности

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. В чем заключается принцип усиления чирпированных импульсов. Красное или синее крыло спектра импульса испытывает большее усиление при положительном (отрицательном) чирпе в случае, если усилитель насыщен (не насыщен)? Как изменяется
2. Стретчер на основе двух решеток/призм вносит положительный или отрицательный чирп? Спектрально ограниченный импульс с длительностью 30 фс поступает на стретчер состоящий из двух решеток. Расстояние между решетками (1200 линий на мм) равно 50 см. Угол падения равен 15 градусов. Рассчитать длительность импульса на выходе из стретчера.
3. Рассчитать длительность импульса с длительностью 50 фс и центральной длиной волны 800 нм после прохождения кварцевого волокна длиной 100 см, если коэффициент дисперсии второго порядка равен $36 \text{ фс}^2/\text{мм}$?
4. Какова величина плотности энергии насыщения усиления для усилителя на основе кристалла титан-сапфира на длине волны 800 нм? Какова величина плотности энергии насыщения поглощения для усилителя на основе кристалла титан-сапфира на длине волны 532 нм?
5. Как и насколько изменится плотность энергии насыщения усиления в усилителе на основе кристалла Yb:YAG если его температуру снизить с комнатной до температуры жидкого азота? Как изменится при этом полоса усиления?

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Уравнение Франца-Нодвига для 4-х уровневой системы для поглощения. Плотность энергии насыщения поглощения. Случай импульсной и непрерывной накачки.
2. Уравнение Франца-Нодвига для 4-х уровневой системы для усиления. Плотность энергии насыщения усиления. Искажение и сужение спектра при усилении.
3. Уравнение Франца-Нодвига для 3-х уровневой системы для поглощения. Плотность энергии насыщения поглощения. Случай импульсной и непрерывной накачки.
4. Уравнение Франца-Нодвига для 3-х уровневой системы для усиления. Плотность энергии насыщения усиления. Искажение и сужение спектра при усилении.
5. Пикосекундные системы - источники узкополосного излучения с большой энергией. Используемые активные среды. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Типичные схемы лазерных установок. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии.
6. Лазерные системы для управляемого термоядерного синтеза. Проблема пространственной однородности лазерного излучения на мишени и методы ее решения.
7. Усилители на красителях. Эксимерные усилители. Усилителя на углекислом газе высокого давления. Типичные схемы лазерных установок. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии.
8. Усиление чирпированных импульсов (CPA). Дисперсия. Стретчеры и компрессоры на основе волокон и призм. Коэффициенты дисперсии.
9. Усиление чирпированных импульсов (CPA). Дисперсия. Стретчеры и компрессоры на основе дифракционных решеток. Коэффициенты дисперсии.

10. Теоретическое описание процесса усиления спонтанной люминесценции в усилителе. Нелинейная очистка излучения: нелинейное вращение эллипса поляризации. Примеры лазерных систем, использующих нелинейную очистку излучения.
11. Теоретическое описание процесса усиления спонтанной люминесценции в усилителе. Нелинейная очистка излучения: генерация скрещенной волны поляризации (XPW). Примеры лазерных систем, использующих нелинейную очистку излучения.
12. Процесс параметрического усиления в нелинейных кристаллах. Угловой и спектральный синхронизмы. Коллинеарная и неколлинеарная схемы. Групповая длина.
13. ОРСПА системы для генерации излучения в ближнем и среднем ИК диапазоне. Преимущества и недостатки ОРСПА систем. Источники пикосекундных импульсов для накачки параметрических усилителей.
14. Активные среды, допускающие усиление импульсов с высокой средней мощностью. Усилители с диодной накачкой на основе волокон, монокристаллических волокон, тонких дисков и слабов.
15. Мощные системы на основе накопительных кювет. Методы стабилизации длины кюветы.
16. Преодоление ограничений СПА систем по выходной энергии, средней мощности и ширине полосы усиления за счет интерференции излучения многоканальных усилителей (ICAN и др.).
17. СПА усиление. Используемые активные среды для ближнего ИК диапазона. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Типичные схемы лазерных установок. Особенность искажения спектра усиливаемого импульса в процессе СПА. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии и пиковой мощности и частоты повторения. Посткомпрессия.
18. СПА усиление. Используемые активные среды для среднего ИК диапазона. Их параметры с точки зрения процесса усиления. Типичные схемы лазерных установок. Особенности усиления излучения среднего ИК диапазона. Особенность искажения спектра усиливаемого импульса в процессе СПА. Факторы, накладывающие ограничения на максимальный уровень выходной энергии и пиковой мощности и частоты повторения.
19. Лазерные системы, использующие усиление по принципу СПА и ОРСПА. Комбинированные системы для генерации мощных импульсов с длительностью порядка одного периода поля.
20. Нескомпенсированная дисперсия в системе стретчер-компрессор на основе решеток. Значения остаточных дисперсионных коэффициентов. Влияние на временную форму импульсов. Методы компенсации.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. High Power Laser Systems, edited by Masoud Harooni, IntechOpen (2018)
2. Colin N. Danson et. al. Petawatt and exawatt class lasers worldwide High Power Laser Science and Engineering, (2019), Vol. 7, e54.
3. W.S. Brocklesby et al ICAN as a new laser paradigm for high energy, high average power femtosecond pulses Eur. Phys. J. Special Topics 223, p.1189–1195 (2014)
4. Sterling Backus et al. High power ultrafast lasers, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 69, NUMBER 3 p.1207 (1998)
5. Jens Limpert et. al. High Repetition Rate Gigawatt Peak Power Fiber Laser Systems: Challenges, Design, and Experiment IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 15, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY (2009) p.159

6. Tamas Nagy et. al. High-energy few-cycle pulses: post-compression techniques Advances in Physics: X (2020), VOL. 6, NO. 1
7. R. S. Craxton, et. al. Direct-drive inertial confinement fusion: A review, Phys. of Plasmas v.22, p.110501 (2015)

Дополнительная литература.

1. E. Martinez, J. P. Gordon, and R. L. Fork Negative group-velocity dispersion using refraction Vol. 1, No. 10/October 1984/J. Opt. Soc. Am. A p.1003
2. E. Treacy, Optical Pulse Compression With Diffraction Gratings IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. QE-5, NO. 9, (1969) p.454
3. S. Witte and K. S. E. Eikema, Ultrafast Optical Parametric Chirped-Pulse Amplification IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 18, NO. 1, (2012) p.296
4. Matthias Baudisch High power, high intensity few-cycle pulses in the mid-IR for strong-field experiments, DISSERTATION, the Institute of Photonic Sciences, Barcelona, (2017)

Интернет-ресурсы.



Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, управляющим компьютером, экраном и обычной учебной доской.