

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:

Современные активные среды и методы в физике лазеров

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., Доцент физического факультета МГУ Ф.В.Потемкин

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Современные активные среды и методы в физике лазеров»

В курсе изучаются основы физики конденсированных лазерных материалов, их спектрально-люминесцентные свойства и основные типы. Описаны наиболее актуальные области применения лазерных материалов – энергетика, оптическая связь, обработка материалов. Отдельное внимание в курсе уделено иным способам получения мощных лазерных импульсов, основанных на явлении параметрической генерации, усиления, нелинейной компрессии. Заключительная часть курса посвящена некоторым применениям когерентного излучения – спектроскопии (в том числе нелинейная), томография, и др.

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 «Современные активные среды и методы в физике лазеров» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и относится к вариативной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Современные активные среды и методы в физике лазеров» 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	<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</p>

<p>электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3).</p>	<p>аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Конденсированные лазерные среды и их свойства

Сопоставление материалов с разной степенью упорядоченности (монокристаллы, стекла, керамики). Примеры популярных кристаллов, используемых для активации.

Основные типы конденсированных лазерных сред. Неодимовые, эрбиевые и иттербиевые лазерные материалы. Лазерные материалы для генерации в УФ диапазоне на межконфигурационных переходах. Наиболее важные лазерные материалы, активированные переходными элементами. Титан сапфировый лазер. Уникальная вариабельность свойств лазерных кристаллов, активированных трёхвалентным хромом. Лазеры на кристаллах с Cr²⁺ и Cr⁴⁺.

Тема 2. Параметрическая генерация и усиление

Параметрическая генерация и усиление. Теория параметрической генерации и усиления. Групповой и фазовый синхронизм. Параметрическая генерация ультракоротких импульсов: коллинеарная схема, неколлинеарная схема, NOPA. Получение мощных лазерных импульсов с помощью оптического параметрического усиления, DCOPA, FOPA.

Тема 3. Лазерные усилители

Энергия насыщения. Усиление слабого сигнала. Формула Франца-Нодвика. Ограничения при усилении – самовоздействие излучения и поверхностный и объемный пробой материалов. Предельные характеристики при прямом усилении. Многопроходные и регенеративные усилители. Технология усиления чирпированных импульсов.

Тема 4. Детекторы оптического излучения

Сверхбыстрые детекторы импульсного лазерного излучения. Фотодиоды, pin-диоды, лавинные диоды. ФЭУ. Особенности применения. Оптическая стрик-камера. Корреляционные измерения длительности и временной формы оптических сигналов. Аттосекундные измерения.

Тема 5. Методы измерения ультракоротких лазерных импульсов

Методы измерения длительности, спектра и фазы ультракоротких лазерных импульсов (автокорреляционная методика, FROG, SPIDER, XFROG, Grenouville)

Тема 6. Спектральные измерения и приборы в лазерной физике

Основные понятие и характеристики спектрального прибора. Уравнение дифракционной решётки. Аберрации спектральных приборов и способы освещения входной щели. Спектральные приборы (спектрометры, спектрографы и монохроматоры) и критерии выбора. Регистрация спектров и выбор системы регистрации. Применения дифракционных решёток.

Тема 7. Стретчирование и компрессия ультракоротких лазерных импульсов

Стретчеры и компрессоры. Чирпированные брэгговские решётки и чирпированные зеркала. Pulse shapers: оптический модулятор света (SLM), биморфное зеркало, акустооптический дисперсионный фильтр (DAZZLER). Нелинейная компрессия сверхкоротких лазерных импульсов.

Тема 8. Линейная и нелинейная спектроскопия

Однородное и неоднородное уширение линии. Спектроскопия поглощения. Фурье-спектроскопия. Особенности нелинейно-оптических методов. Зондирование границ раздела. Двухфотонная и многофотонная спектроскопия. Доплеровское уширение. Спектроскопия насыщения. Поляризационная спектроскопия. Спектроскопия четырехволнового смешения. КАРС.

Тема 9. Спектроскопия сверхвысокого разрешения и оптические ловушки и лазерное охлаждение.

Спектроскопия сверхвысокого разрешения. Оптический стандарт частоты. Измерение длины волны перехода 1s-2s атома водорода. Охлаждение частиц: ловушка Паули, Пеннинга, оптическая ловушка. Лазерный пинцет. Атомные часы.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Семинаров	
			Общая ауд.	Итоговая	Лекций		
Современные активные среды и методы в физике лазеров	2	72	34	17	17	38	

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

Изучение курса «Современные активные среды и методы в физике лазеров» 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	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Конденсированные лазерные среды и их свойства	8	2		2	5	Собеседование, опрос
2	Параметрическая генерация и усиление	8	2	-	2	4	
3	Лазерные усилители	8	2	-	2	4	
4	Детекторы оптического излучения	8	2		2	4	
5	Методы измерения ультракоротких лазерных импульсов	8	2		2	5	
6	Спектральные измерения и приборы в лазерной физике	8	2		2	4	
7	Стретчирование и компрессия ультракоротких лазерных импульсов	8	2		2	4	
8	Линейная и нелинейная спектроскопия	8	2		2	4	
9	Спектроскопия сверхвысокого разрешения и оптические ловушки и лазерное охлаждение.	8	1		1	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в устной форме
ИТОГО:		72	17	-	17	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Современные активные среды и методы в физике лазеров» 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 «Современные активные среды и методы в физике лазеров» 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 результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: современные активные среды и экспериментал	Отсутствие знаний современных активных сред и экспериментальных методов в физике лазеров	В целом успешные, но не систематические знания современных	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы	Успешные и систематические знания современных активных сред и

<p>бные методы в физике лазеров ОПК-3.Б 3-6</p>		<p>активных сред и экспериментальных методов в физике лазеров</p>	<p>знания современных активных сред и экспериментальных методов в физике лазеров</p>	<p>экспериментальных методов в физике лазеров</p>
<p>УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования ОПК-3.Б У-6</p>	<p>Отсутствие умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы проявления умений организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое умение организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области экспериментальной лазерной</p>	<p>Отсутствие/фрагментарное владение навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных</p>	<p>В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владения навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении</p>	<p>Успешное и систематическое владение навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении исследовательских задач в области</p>

физики и нелинейной оптики ОПК-3.Б В-6		исследовательских задач в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики	конкретных исследовательских задач в области экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики	экспериментальной лазерной физики и нелинейной оптики
-------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Рассчитайте, как изменится длительность спектрально-ограниченного импульса титан-сапфирового лазера $\tau_L=20$ фс при прохождении системы из двух решёток 1200 штр./мм., угол падения 8° в первом порядке дифракции. Оцените временной и спектральный чирпы для такого импульса.
2. Какая апертура оптических элементов в стретчере должна быть выбрана для импульса с центральной длиной волны 1250 нм и длительностью $\tau_L=50$ фс. Стретчер образован фокусирующим зеркалом с фокусным расстоянием 94 см и диф.решёткой с плотностью штрихов 600 штр./мм., работающей под углом падения 21 градус в первом порядке дифракции. Расстояние между дифракционной решёткой и плоским зеркалом должно обеспечивать стретчирование в 2500 раз.
3. Рассчитайте оптимальную схему стретчирования спектрально-ограниченного импульса с длиной волны 3 мкм и длит. импульса $\tau_L=100$ фс, которая обеспечивает выходную энергию 10 мДж без нелинейного искажения спектра.
4. Рассчитайте схему призмного компрессора для компенсации дисперсии третьего порядка решёточного компрессора 1200 штр./мм., угол падения 8° для излучения титан-сапфирового лазера, длительность спектрально-ограниченного импульса которого равна $\tau_L=8$ фс.
5. Предложите две схемы компрессии спектра фемтосекундного импульса с положительным чирпом 10^4 фс², центральной длиной волны 800 нм и ширине спектра 100 нм.
6. Какое расстояние должно быть между призмами, сделанными из материала SF10, чтобы на выходе из мастер-осциллятора был спектрально-ограниченный импульс с центральной длиной волны 1250 нм и длительностью 50 фс. Материальную дисперсию хром-форстеритовой среды необходимо взять из таблиц.
7. Спектр импульсного излучения с центральной длиной волны 2.1 мкм имеет ширину спектра по полувысоте 100 нм. При измерении длительности автокорреляционным методом оказалось, что полуширина корреляционной функции на полувысоте 410 fs. Рассчитайте спектральный чирп у такого импульса и предложите схему для его компенсации.
8. Как изменится длина компрессора, если излучение титан-сапфирового лазера пройдёт ещё 10 проходов через активный элемент длиной 8 мм. Компрессор составлен из двух решёток 1200 штр./мм. и работает в первом порядке дифракции под углом падения 8° .
9. Рассчитать используя приближение Франца-Нодвига сколько проходов необходимо совершить для достижения выходного уровня энергии 100 мДж в титан-сапфировой лазерной системе. Начальный уровень инжекции 2 нДж. Размеры пучков выбираются в соответствии с требованием выходной энергии. Какой фактор стретчирования обеспечит такое усиление без нелинейного искажения фазы.
10. Рассчитать используя приближение Франца-Нодвига сколько проходов необходимо совершить для достижения выходного уровня энергии 10 мДж в лазерной системе на $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$. Начальный уровень инжекции 2 нДж. Размеры пучков выбираются в соответствии с

- требованием выходной энергии. Какой фактор стретчирования обеспечит такое усиление без нелинейного искажения фазы.
11. Рассчитать используя приближение Франца-Нодвига сколько проходов необходимо совершить для достижения выходного уровня энергии 10 мДж в лазерной системе на $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$. Начальный уровень инжекции 2 нДж. Размеры пучков выбираются в соответствии с требованием выходной энергии. Какой фактор стретчирования обеспечит такое усиление без нелинейного искажения фазы.
 12. На выходе хром-форстеритовой системы необходимо иметь 10 мДж. Имея ввиду, что погонный коэффициент усиления 1.45 на 10 мм длины кристалла и входной уровень энергии 0,5 нДж, оценить необходимое количество проходов. Какой фактор стретчирования обеспечит такое усиление без нелинейного искажения фазы.
 13. Оцените длительность импульса при полной компенсации входного chirpa излучения в компрессоре после 40 проходов в кристалле $\text{Yb}:\text{YAG}$ при плотности энергии накачки, соответствующей максимальному коэффициенту усиления слабого сигнала.
 14. Оцените длительность импульса при полной компенсации входного chirpa излучения в компрессоре после 60 проходов в кристалле хром-форстерита при плотности энергии накачки, соответствующей максимальному коэффициенту усиления слабого сигнала.
 15. Предложите схему и рассчитайте необходимые параметры кристаллов для создания оптического параметрического усилителя в 10 мкм при длительности импульса 300 фс.
 16. Предложите схему и рассчитайте параметры нелинейно-оптического кристалла для создания оптического параметрического усилителя в 5 мкм диапазон длин волн с длительностью импульса 80 фс.
 17. Вычислите угол неколлинеарной параметрической генерации для кристалла ниобата калия при накачке титан-сапфировым лазером в условиях критического синхронизма.
 18. Вычислите угол неколлинеарной параметрической генерации для кристалла КТР при накачке титан-сапфировым лазером в условиях критического синхронизма.
 19. Вычислите угол неколлинеарной параметрической генерации для кристалла RTA при накачке титан-сапфировым лазером в условиях критического синхронизма.
 20. Рассчитайте, как изменится контраст титан-сапфирового фемтосекундного лазерного излучения 2 мДж, 50 фс при фокусировке линзой с фокусным расстоянием $f=4\text{м}$ в кристалл BaF_2 [100] толщиной 2 мм. Ослабление излучения в системе поляризатор-анализатор 4 дБ. Угол между плоскостью поляризации излучения и осью [100] необходимо выбрать оптимальным способом. Положение кристалла BaF_2 должно быть выбрано таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное поляризационное подавление «паразитной» поляризации и отсутствие фазовой самомодуляции.

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

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Прямое усиление лазерного излучения и его предельные возможности
2. Усиление chirпированных импульсов.
3. Контраст мощного лазерного излучения.
4. Распространение излучения в оптическом волокне.
5. Распространение излучения в периодических средах.
6. Адаптивная оптика.
7. Уширение спектральных линий.
8. Линейная оптическая спектроскопия.
9. Нелинейно-оптическая спектроскопия.
10. Спектроскопия сверхвысокого разрешения.
11. Фемтосекундные параметрические генераторы и усилители: сравнение с лазерными усилителями
12. Интенсивностные характеристики спектров конденсированных сред
13. Процессы трансформации энергии в активированных лазерных материалах
14. Лазерные конденсированные среды: основные типы и современные приложения

15. Сверхбыстрые детекторы импульсного лазерного излучения и особенности их применения
16. Корреляционные измерения длительности и временной формы оптических сигналов: преимущества и недостатки
17. Методы измерения спектральной фазы и огибающей ультракоротких лазерных импульсов
18. Спектральные приборы (спектрометры, спектрографы и монохроматоры), критерии выбора, основные понятия и характеристики
19. Применения дифракционных решёток в спектроскопии и лазерной физике
20. Стретчеры и компрессоры фемтосекундных лазерных импульсов

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

Основная литература.

1. Springer Handbook of Lasers and Optics, Frank Träger (Ed.), 2007, Springer Science+Business Media, LLC New York
2. Ахманов С.А., Хохлов Р.В. «Параметрические усилители и генераторы света» // УФН, т.88, №3, с.439
3. G. Cerullo, S. De Silvestri «Ultrafast optical parametric amplifiers» // Review of Scientific Instruments 74, 1 (2003)
4. Valentin Petrov «Frequency down-conversion of solid-state laser sources to the mid-infrared spectral range using non-oxide nonlinear crystals» // Progress in Quantum Electronics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pquantelec.2015.04.001>
5. B.G.Fidric, R.A.Provencal, S.M.Tan et al “Bananas, Explosives and the future of cavity ring down spectroscopy” // OPN 14, #7, 24 (2003)
6. Rick Trebino, “Frequency-Resolved Optical Gating: The Measurement of Ultrashort Laser Pulses” // Springer; 2000 edition (October 30, 2012)
7. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. «Физическая оптика» Москва, Наука 2004.
8. Звелто О. «Принципы лазеров», Москва, Мир, 1984.
9. Шен И.Р. «Принципы нелинейной оптики», Москва, Наука, 1984.
10. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. «Физика мощного лазерного излучения»
11. Ананьев Ю.А., Оптические резонаторы и лазерные пучки, М: Наука , 1990
12. Н. Бломберген. Нелинейная оптика, под ред. С.А.Ахманова, Р.В.Хохлова, М. Мир, 1966
13. Голяев Ю.Д., Зверев Г.М., Лазеры на кристаллах и их применение, М: Радио и связь, 1994
14. В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов, Прикладная нелинейная оптика, М: Физматлит, 2004
15. Ищенко Е.Ф., Открытые оптические резонаторы, М: Советское радио, 1980
16. Цернике Ф., Мидвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика, М: Мир, 1976
17. И.Р. Шен, Принципы нелинейной оптики, под ред. С.А.Ахманова, М: Наука, 1989
18. А. Ярив, Введение в оптическую электронику, М: Высшая Школа, 1983
19. А. Ярив, П. Юх, Оптические волны в кристаллах, под ред. И.Н.Сисакяна, М. Мир, 1987

Дополнительная литература.

1. E. Goulielmakis, M. Uiberacker, R. Kienberger, et al “Direct Measurement of Light Waves” // Science **305**, 1267 (2004)
2. R. Kienberger, E. Goulielmakis, M. Uiberacker et al “Atomic transient recorder” // Nature **427**, 817 (2004)
3. H.Cao “Random Lasers: Development, Features and Applications” // OPN, **16**, #1, 24 (2005)
4. P.Bernath “Spectroscopy from orbit” // OPN **16**, #4, 24 (2005)
5. A.Galvanauskas “High power fiber lasers” // OPN **15**, #7, 42 (2004)

6. D.Dawes “Lasers and the fine art of art conservation” // OPN **15**, #9, 16 (2004)
7. K.Kawase “Terahertz imaging: for drug detection & large-scale integrated circuit inspection” // OPN **15**, #10, 34 (2004)
8. T.D.Milster “Horizons for optical data storage” // OPN **16**, #3, 28 (2005)
9. M.Gu, X.Li “The road to multi-dimensional bit-by-bit optical data storage” // OPN **21**, #7, 28 (2010)
10. S.Strohmaier, C.Tillkorn, P.Olschowsky, J.Hostetler “High-power, high-brightness direct-diode lasers” // OPN **21**, #10, 24 (2010)
11. P.B.Corkum, Z.Chang “The attosecond revolution” // OPN **19**, #10, 24 (2008)
12. H.Ren, S.Xu, Y.-J.Lin, S.-T.Wu “Adaptive-focus lenses” // OPN **19**, #10, 42 (2008)
13. A.Lakhtakia, T.G.Macklay “Meet the metamaterials” // OPN **18**, #1, 32 (2007)
14. P.Russel “Photonic Crystal Fiber: Finding the holey grail” // OPN **18**, #7, 26 (2007)
15. L.-S.Ma “Optical atomic clocks. From dream to reality” // OPN **18**, #9, 42 (2007)
16. D.Killinger, V.Sivaprakam “How Water GLOWS: Water monitoring with laser fluorescence” // OPN **17**, #1, 34 (2006)
17. A.Greenaway “Adaptive Optics: Astronomy and Beyond” // OPN **17**, #9, 24 (2006)
18. B.G.Fidric, R.A.Provencal, S.M.Tan et al “Bananas, Explosives and the future of cavity ring down spectroscopy” // OPN **14**, #7, 24 (2003)
19. J.Hecht “Solid-state high-energy laser weapons” // OPN **14**, #1, 42 (2003)
20. Е.М.Дианов, А.М.Прохоров, «Лазеры и волоконная оптика» // УФН, **148**, № 2, стр. 289-311 (1986)
21. Clark E., Krushelnik K., Zepf V. et al Phys. Rev. Lett., **85**, 1654, (2000)
22. J. Fuchs et al // Nature Physics, **2**, 48 (2006)
23. D.Strickland, G.Mourou // Opt. Comm. **56**, 219 (1985)
24. F.Krausz, M.Ivanov “Attosecond Physics” // Reviews of Modern Physics, **81**, pp. 163-234 (2009)
25. D.Umstadter “Relativistic laser–plasma interactions” // J. Phys. D: Appl. Phys. **36**, R151–R165 (2003)
26. T.W. Hänsch “Nobel Lecture: Passion For Precision” // Rev. Mod. Phys. **78**, 1297–1309 (2006)
27. C.N. Cohen-Tannoudji, W.D. Phillips “New Mechanisms For Laser Cooling” // Phys. Today **43**, October, 33 (1990)
28. Ж.И.Алферов “Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии” // УФН, **172**, №9, 1068 (2002)
29. Г.Крёмер “Квазиэлектрическое поле и разрывы зон. Обучение электронов новым фокусам” // УФН, **172**, №9, 1087 (2002)

Интернет-ресурсы.

- нет

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.