

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии



подпись

Овчинников О.В.

21.06.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.03.02 Принципы управления лазерным излучением

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Овчинников Олег Владимирович, д.ф.-м.н., профессор; Звягин Андрей Ильич, к.ф.-м.н.
7. Рекомендована: НМС физического факультета, протокол №6 от 20.06.2023

8. Учебный год: 2023-2024

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование профессиональных компетенций в области приемов управления параметрами лазерного излучения, а также:
- приобретение студентами знаний принципов создания устройств управления параметрами лазерного излучения;
- способностями применять полученные знания при проектировании и эксплуатации приборов квантовой электроники, нанофотоники и оптоинформатики на основе интеграции научных исследований, информационных технологий и инновационных подходов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение основных принципов управления параметрами лазерного излучения и свойств применяемых для этих целей материалов;
- изучение современных подходов разработки активных и пассивных устройств управления параметрами лазерного излучения.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: учебная дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 «Принцип управления лазерным излучением» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору Блока Б1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК – 2	Способен экспериментально исследовать перспективные материалы и моделировать процессы в устройствах фотоники	ПК – 2.2.	Осуществляет подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывает методики оптических и фотонных исследований	Знать: правила подбора оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, подходы к разработке методик оптических и фотонных исследований. Уметь: осуществлять подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разрабатывать методики оптических и фотонных исследований. Владеть: навыками осуществлять подбор оборудования и комплектующих необходимых для проведения исследований, разработки методик оптических и фотонных исследований.
ПК – 3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств нанофотоники	ПК – 3.1.	Проводит научные исследования в области нанофотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	Знать: основные методики проведения научных исследований в области нанофотоники с использованием специализированного исследовательского оборудования, приборов и установок. Уметь: проводить научные исследования в области нанофотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки. Владеть: навыками проведения научных исследований в области нанофотоники с использованием специализированного исследовательского оборудования, приборов и установок.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 ЗЕТ / 108 ч.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			№ 2
Аудиторные занятия		32	32
в том числе:	лекции	32	32
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		40	40
Форма промежуточной аттестации <i>экзамен</i>		36	36
Итого:		108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.	Характеристики и параметры лазерного излучения	Монохроматичность, когерентность, направленность и поляризация лазерного излучения. Параметры лазерного излучения (энергетические, спектральные, временные, пространственные, параметры когерентности и поляризации). Измерение технических параметров лазеров (мощность (непрерывный режим), частота следования импульсов, длительность импульса, поперечный размер пучка, распределение интенсивности по сечению пучка, параметры гауссова пучка, расходимость, качество пучка, ширина линии излучения).	
2.	Обеспечение энергетических и временных характеристик лазерного излучения	Непрерывная генерация. Свободная генерация. Модуляция добротности резонатора. Разгрузка резонатора. Синхронизация мод. Распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса. Спекл.-картина. Расходимость лазерного излучения. Влияние неоднородности лазерной среды. Преобразование амплитуды: лазерное усиление. Преобразование частоты: генерация второй гармоники и параметрическая генерация. Временное преобразование: сжатие импульса.	
3.	Способы ограничения мощности лазерного излучения.	Активные ограничители мощности. Пассивные ограничители мощности и механизмы их работы (Обратное насыщающееся поглощение, двухфотонное поглощение, поглощение свободными носителями, нелинейная рефракция, индуцированное рассеяние. Фоторефракция).	
4	Нелинейно-оптические среды для ограничения оптической мощности, коррекция волнового фронта, умножение частоты.	Углеродные суспензии. Органометаллиты. Фуллерены. Полупроводниковые нанокристаллы и квантовые точки. Жидкие кристаллы. Плазмонные наночастицы. Гибридные структуры на основе квантовых точек, плазмонных наночастиц и молекул красителей.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практ.	Лаб. раб.	Сам. работа	Всего
1.	Характеристики и параметры лазерного излучения	8			10	18
2.	Обеспечение энергетических и временных характеристик лазерного излучения	8			10	18
3.	Способы ограничения мощности лазерного излучения.	8			10	18
4.	Нелинейно-оптические среды для ограничения оптической мощности, коррекция волнового фронта, умножение частоты.	8			10	18
	Итого:	32			40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются:

1. Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций
2. Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
3. Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	<i>Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. — 4-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-8994-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/330503 (дата обращения: 20.09.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>
2.	<i>Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Щапова. — 4-е изд., стер. — Москва : ФЛИНТА, 2022. — 235 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=103827 (дата обращения: 20.09.2024). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-9765-0040-2. — Текст : электронный.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	<i>Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118455 — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>
4.	<i>Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 664 с.</i>
5.	<i>Голубев, В. С. Физические основы технологических лазеров : учебное пособие : [16+] / В. С. Голубев, Ф. В. Лебедев. — 3-е изд., стер. — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. — 189 с. : табл., ил. — (Лазерная</i>

	техника и технология : в 7 кн., кн. 1 / под ред. А. Г. Григорьянца). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612976 – ISBN 978-5-4499-2052-2 (Кн. 1). - ISBN 978-5-4499-2058-4. – DOI 10.23681/612976. – Текст : электронный.
6.	Звелто, О. Принципы лазеров = Principles of lasers / Орацио Звелто ; пер. с англ. Д.Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова .— изд. 4-е .— СПб ; М. ; Краснодар : Лань, 2008 .— 719 с. : ил. — (Учебные пособия для вузов. Специальная литература) .— Библиогр. в конце гл. — Предм. указ.: с.703-712 .— ISBN 978-5-8114-0844-3.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/
8.	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Моделирование оптических систем оптоэлектронных приборов: методические указания к выполнению лабораторных работ : учебное пособие : [16+] / С. Н. Липницкая, А. Е. Романов, Д. А. Бауман, В. Е. Бугров ; Университет ИТМО. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. – 61 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564017 (дата обращения: 09.11.2021). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.
2.	Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы обучающимися в магистратуре по направлению "Физика" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. направления 03.03.02 Физика] / Сост.: Л.Ю. Леонова, И.Г. Гревцева ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, ноутбук, компьютер, мультимедиа-проектор экран, WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Характеристики и параметры лазерного излучения	ПК-2 ПК-3	ПК – 2.2. ПК – 3.1.	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
2.	Обеспечение энергетических и временных характеристик лазерного излучения	ПК-2 ПК-3	ПК – 2.2. ПК – 3.1.	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
3.	Способы ограничения мощности лазерного излучения.	ПК-2 ПК-3	ПК – 2.2. ПК – 3.1.	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
4.	Нелинейно-оптические среды для ограничения оптической мощности, коррекция волнового фронта, умножение частоты.	ПК-2 ПК-3	ПК – 2.2. ПК – 3.1.	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				<i>КИМ</i>

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания и критерии их оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

20.1. Текущая аттестация

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Задание включает в себя пять тестовых заданий, теоретический вопрос и 2 задачи. Время выполнения 45 мин.

Пример контрольно-измерительный материала для текущей аттестации:

Контрольно-измерительный материал № 1

Задание 1. Укажите правильные ответы.

- Какой параметр лазерного излучения можно варьировать, используя коллиматор?
а) мощность. б) расходимость. в) когерентность. г) частоту.
- Ограничители мощности лазерного излучения на эффекте обратного насыщения поглощения являются:
а) активными. б) пассивными. в) с обратной связью. г) таких не существует.
- Ограничитель оптической мощности на эффекте фокусировки/дефокусировки лазерного излучения меняет:
а) длину волны излучения. б) мощность. в) интенсивность. г) яркость.
- Укажите верное значение потерь мощности монохроматического оптического излучения при прохождении света через оптический элемент с показателем преломления 1.5 без просветляющего покрытия:
а) ~2%. б) ~10%. в) потерь не будет. г) ~8%.
- Чему равна длина волны несущей частоты генерации Nd³⁺:YAG лазера?
а) 532 нм. б) 1,064 мкм. в) 0,633 мкм. г) 405 нм.

Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу: Модуляция добротности резонатора.

Задание 3. Решите задачу: Чему равна энергия фотона на длинах волн 1.064 мкм, 633 нм, 405 нм?
Ответ дать в эВ.

Задание 4. Решите задачу: Определить интенсивность лазерного излучения длительностью 10 нс, энергией 0.1 мДж, диаметр пучка 6.3 мм. Ответ дать в Вт/см².

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

3) ответ на теоретические вопросы:

- 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

- от 13 до 15 баллов – «отлично»;
- от 10 до 12 баллов – «хорошо»;
- от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;
- от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Оценка за экзамен может быть выставлена по результатам текущей успеваемости обучающегося в течение семестра на заключительном занятии. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен на общих основаниях.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый КИМ включает два теоретических вопроса (и задачу (вопросы к экзамену и задачи см. в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины). Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа на бланках ответа и устно отвечает преподавателю. Оценивается правильность и полнота ответа на каждый вопрос, при решении задачи оценивается: знание физических основ (явлений, законов, формул), необходимых для ее решения; наличие математических преобразований; правильный ответ. Время подготовки ответа не более 45 мин, время ответа не более 15 мин.

Пример КИМ:

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии
Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи
__ . __ . 20 __

Направление подготовки 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика
Дисциплина _____ Принципы управления лазерным излучением
Форма обучения очная
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Монохроматичность, когерентность, направленность и поляризация лазерного излучения.
2. Преобразование амплитуды: лазерное усиление.
3. Рассчитать диаметр перетяжки лазерного излучения с длиной волны 660 нм, при условии прохождения пучка через линзу с фокусным расстоянием 15 см. Ширина пучка лазера при входе в линзу равнялась $d = 3.4$ мм. Ответ дать в мкм.

Преподаватель _____ Звягин А.И.

Критерии и шкалы оценивания КИМ:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) ответ на теоретические вопросы:

• 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

- от 5 до 6 баллов – «отлично»;
- от 3 до 4 баллов – «хорошо»;
- 2 балла – «удовлетворительно»;
- от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций

Примеры задач для текущего и промежуточного контроля знаний:

Задача 1. Чему равна энергия фотона на длинах волн 1.064 мкм, 633 нм, 405 нм? Ответ дать в эВ.

Задача 2. Определить интенсивность лазерного излучения длительностью 10 нс, энергией 0.1 мДж, диаметр пучка 6.3 мм. Ответ дать в Вт/см².

Задача 3. Рассчитать потери мощности монохроматического лазерного излучения при прохождении оптического элемента с показателем преломления 1.74 без просветляющих покрытий. Ответ дать в %.

Задача 4. Рассчитать энергию в импульсе лазерного излучения длительностью 20 нс, интенсивностью 450 Вт/см², диаметр пучка 0.6 см. ответ дать в Дж.

Задача 5. Рассчитать энергию фотона, полученного удвоением частоты на нелинейном кристалле KDP, основная длина волны генерации 1,064 нм. Ответ дать в эВ.

Задача 6. Рассчитать диаметр перетяжки лазерного излучения с длиной волны 660 нм, при условии прохождения пучка через линзу с фокусным расстоянием 15 см. Ширина пучка лазера при входе в линзу равнялась $d = 3.4$ мм. Ответ дать в мкм.

Перечень вопросов к КИМ:

1. Монохроматичность, когерентность, направленность и поляризация лазерного излучения.
2. Параметры лазерного излучения (энергетические, спектральные, временные, пространственные, параметры когерентности и поляризации).
3. Измерение технических параметров лазеров (мощность (непрерывный режим), частота следования импульсов, длительность импульса, поперечный размер пучка, распределение интенсивности по сечению пучка, параметры гауссова пучка, расходимость, качество пучка, ширина линии излучения).
4. Непрерывная генерация.
5. Свободная генерация.
6. Модуляция добротности резонатора.
7. Разгрузка резонатора.
8. Синхронизация мод.
9. Распространение, усиление, преобразование частоты, сжатие импульса.
10. Спекл-картина.
11. Расходимость лазерного излучения.
12. Влияние неоднородности лазерной среды.
13. Преобразование амплитуды: лазерное усиление.
14. Преобразование частоты: генерация второй гармоники и параметрическая генерация.
15. Временное преобразование: сжатие импульса.
16. Активные ограничители мощности.
17. Пассивные ограничители мощности и механизмы их работы (Обратное насыщающееся поглощение, двухфотонное поглощение, поглощение свободными носителями, нелинейная рефракция, индуцированное рассеяние. Фоторефракция).
18. Нелинейно-оптические среды для ограничения оптической мощности, коррекция волнового фронта, умножение частоты.