

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Лазерная физика

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность образовательной программы
01.04.21 Лазерная физика

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Лазерная физика» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является обязательной для освоения и изучается на третьем году обучения, в пятом семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основных физических процессах, происходящих при генерации и усилении лазерного излучения, и о методах управления его пространственными, временными и спектральными параметрами;
- освоение аспирантами основных знаний о физической сути, методах описания и способах экспериментальной реализации различных режимов работы лазера (непрерывный режим, свободная генерация, модуляция добротности, синхронизация мод);
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.21 Лазерная физика.

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

В результате изучения аспиранты должны знать основные методы описания процессов накачки, спонтанного излучения, усиления и генерации лазерного излучения. Иметь понятие об открытом резонаторе, его модах и условии самовозбуждения. Знать особенности селекции продольных, поперечных и поляризационных мод в задающем генераторе. Знать основные явления в лазерных усилителях: усиление по слабому сигналу, насыщение усиления, тепловые эффекты, усиление сверхкоротких импульсов. Иметь представление об особенностях основных типов лазеров: лазеры на кристаллах с примесными ионами группы железа, лазеры на примесных редкоземельных ионах, волоконные лазеры, газовые лазеры на нейтральных атомах, ионные газовые лазеры, лазеры на парах металлов, молекулярные газовые лазеры, газодинамические лазеры, эксимерные лазеры, химические лазеры, полупроводниковые лазеры, лазеры на свободных электронах.

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 <i>способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики</i> (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-1) Знать наиболее перспективные и быстро развивающиеся направления разделов лазерной физики; основные нерешенные научные проблемы; недавние и планируемые новаторские эксперименты; а также активно действующие в рамках рассматриваемых тематик научные коллективы.</i> <i>У1 (ПК-1) Уметь разбираться и извлекать требуемую информацию из научных статей, публикуемых в ведущих научных журналах по лазерной физике и относящихся к профессиональной (в том числе, узкопрофессиональной) литературе. Уметь доносить суть физической проблемы, постановки физической задачи, предлагаемых путей решения и достижений до аудитории исследователей-физиков, включающей не только узких специалистов.</i> <i>В1 (ПК-1) Владеть навыками получения релевантной информации о состоянии конкретной научной проблемы, включая поиск научных публикаций по теме и беглый анализ их значимости; расширения научного кругозора в областях, не совпадающих с непосредственной исследовательской задачей обучаемого.</i>
ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и ин-</i>	<i>З1(ПК-2) Знать основные методы генерации, усиления и измерения излучения в непрерывном, импульсно-периодическом и других режимах работы лазера, а также основные подходы селекции мод</i> <i>У1(ПК-2) Уметь применять полученные знания для исследования путей высокоэффективной генерации и усиления излучения и возможности управления основными характеристиками лазерного из-</i>

формационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта (этап освоения – завершающий)	лучения В1 (ПК-2) Владеть современным уровнем научных исследований в лазерной физике, с учетом отечественного и зарубежного опыта.
ПК-3 способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки) (этап освоения – завершающий)	З1 (ПК-3) Знать основные теоретические разделы, используемые для описания генерации и усиления излучения в лазерах У1 (ПК-3) Уметь использовать полученные знания для изучения процессов генерации и усиления излучения в различных лазерных средах, анализировать результаты использования простых моделей для описания взаимодействия излучения с инверсной средой при его генерации и усилении в различных резонаторных и усилительных схемах лазеров В1 (ПК-3) Владеть современными теоретическими и численными моделями, используемыми в лазерной физике

По результатам освоения дисциплины «Лазерная физика» и изученных ранее специальных дисциплин (дисциплин по выбору) аспиранты сдают кандидатский экзамен по специальности 01.04.21 Лазерная физика.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (24 часа занятия лекционного типа, 12 часов занятия семинарского типа – семинары, научно-практические занятия, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов – подготовка и сдача кандидатского экзамена, 34 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2:

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Введение в лазерную физику.	6	2	1	3	3
Линия перехода. Уширение спектральных линий.	6	2	1	3	3
Когерентное усиление излучения.	6	2	1	3	3
Открытые резонаторы.	6	2	1	3	3
Стационарная генерация	6	2	1	3	3
Уравнения для разности населенностей и интенсивности в резонаторе	6	2	1	3	3
Модуляция добротности	6	2	1	3	3
Синхронизация мод и ультракороткие лазерные импульсы	6	2	1	3	3
Селекция мод	7	3	1	4	3
Термооптика твердотельных лазеров	9	3	2	5	4
Типы лазеров	6	2	1	3	3
в т.ч. текущий контроль			4		
Аттестация по дисциплине— Экзамен				2	36
Итого				108	

Содержание дисциплины

Введение в лазерную физику. Что такое лазер. Место лазеров в современном мире. Основные понятия. Переходы в атоме под действием электромагнитного излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.

Линия перехода. Уширение спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Механизмы уширения и форма спектральных линий.

Когерентное усиление излучения. Сечение перехода. Инверсия заселенностей. Активная среда. Накачка. Усиление излучения. Эффект насыщения усиления и поглощения. Интенсивность насыщения. Коэффициент усиления непрерывного усилителя. Коэффициент усиления импульсного усилителя. Формула Франца-Нодвига. Многопроходные усилители.

Открытые резонаторы. Понятие об открытом резонаторе. Сходство и различие интерферометра Фабри-Перо и лазерного резонатора. Основные положения теории Фокса и Ли. Условие устойчивости резонатора. Резонатор с плоскими зеркалами, конфокальный резонатор. Гауссов пучок в свободном пространстве и в резонаторе с вогнутыми зеркалами. Продольные моды резонатора. Поляризационные моды резонатора. Кольцевой резонатор и его особенности.

Стационарная генерация. Условие самовозбуждения открытого резонатора. Порог генерации. Стационарная генерация. Оптимальный коэффициент отражения зеркала (резонатор Фабри-Перо и кольцевой резонатор).

Уравнения для разности населенностей уровней среды и интенсивности поля в резонаторе. Уравнение для разности населенностей для 3-х-уровневой и 4-х-уровневой модели. Выходная мощность непрерывного генератора. Уравнение для интенсивности поля в резонаторе. Время установления стационарного режима и релаксационная частота для 3х-уровневой и 4х-уровневой модели. Свободная генерация.

Модуляция добротности. Модуляция добротности: идея, уравнения, оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала, длительность импульса. Методы реализации модуляции добротности: насыщающийся поглотитель, вращающееся зеркало, электрооптический модулятор, акустооптический модулятор, ОВФ-зеркало.

Синхронизация мод и ультракороткие лазерные импульсы. Генерация на двух и более продольных модах. Синхронизация мод: идея, уравнения, параметры выходного излучения. Методы синхронизации мод: насыщающийся поглотитель, электрооптический модулятор, акустооптический модулятор, керровская линза. Ультракороткие лазерные импульсы: генерация, усиление, диагностика.

Селекция мод. Селекция продольных, поперечных, поляризационных мод в резонаторе: принципы и методы экспериментальной реализации. Подавление двунаправленной генерации в кольцевом резонаторе. Взаимные и невзаимные оптические элементы.

Термооптика твердотельных лазеров. Источники тепла в лазерах. Основные тепловые эффекты в лазерах: тепловая линза, деполяризация, механическое разрушение. Параметры качества среды с точки зрения минимизации тепловых эффектов. Критерии оценки качества пучка. Методы подавления и компенсации тепловых эффектов. Понятие об импульсно-периодическом режиме.

Типы лазеров. Газовые лазеры (в том числе атомарные, ионные, молекулярные, химические, фотодиссоционные, эксимерные и т.д.). Твердотельные лазеры. Лазеры на красителях. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах.

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Лазерная физика» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта. Для активизации познавательного процесса проводятся также занятия семинарского типа: аспирантам даются задания по самостоятельной подготов-

ке семинаров по тематике лекций, которые впоследствии представляются в виде устных презентаций с последующим обсуждением.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

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

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена с оценкой по пятибалльной шкале («плохо», «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). Кандидатский экзамен сдается по совокупности всех освоенных за время обучения специальных дисциплин.

Критерии оценок:

Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дает полный и развернутый ответ на все заданные теоретические вопросы; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированное решение сформулированной задачи с незначительными недочетами, способен успешно решить дополнительную задачу. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все заданные теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полное решение сформулированной задачи с некоторыми недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированное решение сформулированной задачи. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы, как на заданные теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решение сформулированной задачи с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владении методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Аспирант не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированной задачи. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.
-------	--

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена проводится по программе кандидатского экзамена по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Вопросы по программе кандидатского экзамена по специальности 01.04.21 – лазерная физика приведены в приложении 2.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. О. Звелто, Принципы лазеров, СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 4 экз.
2. Крюков П.Г. «Фемтосекундные импульсы» М.: Физматлит, 2008 – 3 экз.
3. Карлов *Н.В.* Лекции по квантовой электронике. - М., Наука, 1988, 336 – 3 экз.
4. Оптические системы с усилителями яркости / ИПФ АН ССР, 1988 [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/new/optus.pdf>

б) дополнительная литература:

1. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая оптика. Физмалит, 2003 – 1 экз. (<http://padaread.com/?book=39910>)
2. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999 – 2 экз.
3. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М., 2000. – 4 экз.
4. В.И. Беспалов, Г.А.Пасманик Нелинейная оптика и адаптивные лазерные системы. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/nell.pdf>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.21 Лазерная физика.

Автор _____ Е.А. Хазанов

Ответственный за направление подготовки _____ Вл.В. Кочаровский

Рецензент _____

Программа принята на заседании Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН, протокол № _____ от _____ года.

Ученый секретарь ОНДиО _____ А.В. Коржиманов

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1: Способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать наиболее перспективные и быстро развивающиеся направления разделов лазерной физики; основные нерешенные научные проблемы; недавние и планируемые новаторские эксперименты; а также активно действующие в рамках рассматриваемых тематик научные коллективы	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями и неточностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь разбираться и извлекать требуемую информацию из научных статей, публикуемых в ведущих научных журналах по лазерной физике и относящихся к профессиональной (в том числе, узкопрофессиональной) литературе. Уметь доносить суть физической проблемы, постановки физической задачи, предлагаемых путей решения и достижений до аудитории исследователей-физиков, включающей не только узких специалистов	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть навыками получения релевантной информации о состоянии конкретной научной проблемы, включая поиск научных публикаций по теме и беглый анализ их значимости; расширения научного кругозора в областях, не совпадающих с непосредственной исследовательской задачей обучающегося	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

ПК-2: Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать основные методы генерации, усиления и измерения излучения в непрерывном, импульсно-периодическом и других режимах работы лазера, а также основные подходы селекции мод	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины

<u>Умения:</u> Уметь применять полученные знания для исследования путей высокоэффективной генерации и усиления излучения и возможности управления основными характеристиками лазерного излучения	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть современными уровнем научных исследований в лазерной физике, с учетом отечественного и зарубежного опыта	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

ПК-3: Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать основные теоретические разделы, используемые для описания генерации и усиления излучения в лазерах	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь использовать полученные знания для изучения процессов генерации и усиления излучения в различных лазерных средах, анализировать результаты использования простых моделей для описания взаимодействия излучения с инверсной средой при его генерации и усилении в различных резонаторных и усилительных схемах лазеров	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть современными теоретическими и численными моделями, используемыми в лазерной физике	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

Вопросы по программе кандидатского экзамена

1. Волновая оптика световых пучков и импульсов: уравнения Максвелла и волновое уравнение.
2. Уравнения квазиоптики, уравнения для медленно меняющихся амплитуд электромагнитного поля.
3. Гауссовы пучки, их преобразование оптическими системами. Дифракционное распывание, длина дифракции.
4. Фурье-оптика волновых пучков и импульсов; пространственная фильтрация.
5. Материальная дисперсия сплошной среды. Распространение импульсов в диспергирующих средах: групповая скорость, дисперсионное распывание.
6. Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Векторы поляризации и намагниченности среды. Разложение поляризации в ряд по степеням поля.
7. Многофотонные резонансные процессы. Обобщенная двухуровневая система. Уравнения Блоха. Когерентные нестационарные процессы.
8. Взаимодействие электромагнитного излучения с кристаллами. Зонная структура энергетических уровней. Диэлектрики, полупроводники, металлы.
9. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля.
10. Пространственная и временная когерентность. Корреляционные функции первого и второго порядка.
11. Уравнение переноса излучения (УПИ). Диффузионное приближение УПИ, баллистические и диффузные фотоны, длина свободного пробега фотона.
12. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности, населенность и квантовая когерентность.
13. Взаимодействие излучения с веществом: двухуровневое приближение, приближение вращающейся волны, приближение медленно меняющихся амплитуд. Адиабатическое исключение переменных.
14. Уровни энергии атомов, молекул, кристаллов. Поглощение и испускание электромагнитного излучения. Вероятности спонтанных и индуцированных переходов.
15. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.
16. Принцип действия лазеров. Оптические резонаторы. Спектр мод резонатора. Добротность резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.
17. Балансные уравнения одномодового лазера. Стационарные состояния и релаксационные колебания.
18. Методы модуляции добротности резонатора лазера. Методы активной и пассивной синхронизации мод излучения в лазере
19. Непрерывный и импульсный лазерный усилитель. Влияние усиленного спонтанного излучения на запасенную энергию
20. Источники тепла в лазерах. Основные тепловые эффекты в лазерах и критерии оценки качества пучка
21. Использование активных элементов дисковой, слэбовой геометрии, а также оптического волокна в лазерах с высокой средней мощностью.
22. Трехволновое взаимодействие световых волн в нелинейных кристаллах: особенности распространения волн в анизотропных средах; фазовый и групповой синхронизм.
23. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрическое усиление и генерация.
24. Усиление фемтосекундных импульсов и способы получения сверхсильных оптических полей. Метод усиления chirпованных импульсов (CPA-method). Параметрическое усиление chirпованных импульсов (OPCPA).

25. Природа кубической нелинейности. Самовоздействие световых импульсов в средах с кубичной нелинейностью.
26. Вынужденное комбинационное рассеяние света: характеристика явления. Параметрическая связь стоксовой и антистоксовой компонент при попутном рассеянии.
27. Обращение волнового фронта света при вынужденном бриллюэновском рассеянии и четырехволновом параметрическом смещении. Использование ОВФ в лазерной оптике.
28. Нелинейно-оптические методы генерации когерентного терагерцового излучения.
29. Одно- и многофотонная ионизация атомов и молекул. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов.
30. Пондеромоторное ускорение фотоэлектронов. Генерация высоких оптических гармоник и суперконтинуума. Генерация каскада комбинационных частот.