

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Неодимовые лазеры
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Б.Г. Зималин, канд. физ.-мат. наук, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем инерционного термоядерного синтеза 01.07.2019

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью курса является формирования у будущих магистров физических специальностей знаний о спектроскопических особенностях строения неодимсодержащих сред, а также принципах построения и работы неодимовых лазеров.

Задачи дисциплины

Изучение дисциплины позволит студентам получить знания о механизмах возникновения инверсной населённости в неодимовых стёклах и кристаллах, конструктивных особенностях усилительных каскадов и способов создания в них инверсной населённости, принципах построения и работы оптических схем формирования спектральных, пространственно-временных и энергетических параметров лазеров на неодимовом стекле, а также получить представление об историческом развитии неодимовых лазерных установок, предназначенных для проведения экспериментов в области лазерного термоядерного синтеза и изучить современный уровень задач, решаемых в рамках действующих лазерных систем с неодимовыми активными средами.

Изучение механизмов возникновения нелинейно-оптических явлений, их роли в современной лазерной физике, их практическим применениям в технике физического эксперимента и серийно выпускаемых лазерных устройствах. Применение полученных знаний для экспериментальных исследований в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- спектроскопию лазерных переходов в атомах Nd³⁺;
- спектрально-люминесцентные, оптические и другие (радиационное время жизни, сечение усиления, теплопроводность, коэффициент термического расширения) характеристики силикатных и фосфатных неодимовых стекол;
- характеристики кристаллических активных сред YAG:Nd и YLF:Nd для неодимовых лазеров, их спектрально-люминесцентные и другие физические параметры (радиационное время жизни, сечение усиления, теплопроводность, коэффициент термического расширения);
- нелинейные и прочностные свойства лазерных стекол;
- способы и источники накачки;
- различные способы модуляции добротности резонатора, применяемые в неодимовых лазерах;
- спектр излучения лазеров на неодимовом стекле и методы управления им;
- режим усиления, балансное приближение, уравнение Франца-Нодвика;
- цели и способы формирования пространственно-угловых характеристик пучка в лазерах на неодимовом стекле;
- контраст излучения, от чего зависит контраст, методы и устройства для получения высокого контраста излучения;
- принципы построения крупномасштабной лазерной установки, ее основные системы (на примере установок Shiva, Nova, Omega, LMJ, NIF, “Кальмар”, “Прогресс”, “Дельфин”, “Луч”).

уметь:

- проводить экспериментальные исследования нелинейно-оптических процессов.
- выбирать параметры неодимсодержащих лазерных сред задающего генератора и усилительного тракта лазерной установки для оценки запасенной энергии методом сводной генерации, оценивать запасенную энергию по величине энергии свободной генерации;
- оценивать запасенную энергию усилительного тракта лазерной системы и предельные возможности энергосъема при различных параметрах лазерного пучка;
- проводить расчёт параметров пространственно-угловых селекторов для обеспечения угловой оптической развязки между усилительными каскадами и согласования апертур пучка и оптических элементов на разных участках оптического тракта;
- оценивать допустимые паразитные отражения в ждущем режиме (в режиме накопления инверсной населенности).

владеть:

- навыками анализа и решения проблем формирования пучка в современных лазерных системах на неодимовой активной среде;
- методами управления основными параметрами лазерного пучка;
- методами измерения параметров лазерного пучка с проведением дальнейшего их анализа.
- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- экспериментальными и теоретическими методами исследования работы неодимовых лазеров.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные параметры лазерных неодимовых сред и методы их определения	3	3		7

2	Принципы организации инверсной населённости в неодимовых средах и методы получения максимального энергосъёма	5	6		8
3	Управление параметрами лазерного пучка неодимовых лазеров	5	6		7
4	Мощные лазерные системы на неодимовом стекле для ЛТС	2			8
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Основные параметры лазерных неодимовых сред и методы их определения

Тема 1. Активная среда лазеров на неодимовом стекле

Введение в курс. Историческая справка. Спектроскопия лазерного перехода иона Nd. Ширина линии, сечение усиления, релаксация подуровней, люминесценция, штарковское расщепление подуровней. Спектрально-люминесцентные свойства неодимовых лазерных стёкол на силикатной и фосфатной основе.

Тема 2. Кристаллические активные среды для неодимовых лазеров

Ширина линии, сечение усиления, релаксация подуровней, люминесценция. Термооптические характеристики. Спектральные характеристики лазеров на YAG:Nd и YLF:Nd.

Тема 3. Нелинейные свойства и лучевая прочность активной среды

Нелинейный показатель преломления n_2 активной среды, В-интеграл. Крупно- и мелкомасштабная самофокусировка, механизмы её возникновения, последствия. Допустимые значения В-интеграла с точки зрения возникновения мелкомасштабной самофокусировки. Методы борьбы с самофокусировкой. Виды разрушения оптических элементов под воздействием мощного лазерного излучения, механизмы развития оптического пробоя в прозрачных диэлектриках, методы определения лучевой прочности активной среды неодимовых лазеров.

2. Принципы организации инверсной населённости в неодимовых средах и методы получения максимального энергосъёма

Тема 1. Квантовые усилители неодимовых лазеров

Конструктивное исполнение квантовых усилителей с цилиндрическими и дисковыми активными элементами, преимущества и недостатки. Причины снижения качества пучка при прохождении квантовых усилителей на неодимовой активной среде и требования к качеству изготовления активных элементов. Принципы выбора параметров квантовых усилителей и режимов их работы в зависимости от параметров лазерного пучка. Методы защиты квантовых усилителей от паразитного сброса инверсной населённости.

Тема 2. Типы схем усиления лазерных импульсов

Однонаправленный усилитель бегущей волны, преимущества и недостатки. Двух- и четырёхпроходные схемы усиления лазерных импульсов. Методы поляризационного и углового разведения пучка в многопроходных схемах усиления. Применение ячеек Поккельса, затвора Фарадея и двулучепреломляющих пластин в многопроходных схемах усиления. Методы защиты усилительных трактов от возникновения паразитной генерации и получение высокого контраста излучения на выходе усилительного тракта. Регенеративные усилители.

Тема 3. Источники и системы оптической накачки неодимовых лазеров

Устройство, принцип работы, маркировка, спектр, предельная энергия разряда, фактор нагрузки, спектральный КПД и ресурс импульсных ксеноновых ламп накачки. Матрицы лазерных диодов. Механизм возникновения генерации излучения в лазерных диодах. Спектральные характеристики излучения и температурный режим работы лазерных диодов. Системы теплоотвода в матрицах лазерных диодов. Сравнительная эффективность накачки импульсных ксеноновых лампам и матриц лазерных диодов. Конструктивное исполнение осветителей систем оптической накачки усилительных каскадов. Материалы, применяемые для изготовления осветителей и их отражательная эффективность. Эффективность поглощения света накачки Nd стеклом.

3. Управление параметрами лазерного пучка неодимовых лазеров

Тема 1. Управление спектральными параметрами излучения лазеров на неодимовом стекле

Продольные и поперечные моды резонатора. Причины генерации нескольких продольных или поперечных мод в резонаторе. Влияние ширины линии усиления неодимовых стёкол и кристаллов на число продольных мод. Методы генерации одночастотного излучения в задающих генераторах на неодимовых активных средах: составные резонаторы, дисперсионно-селектирующие элементы, эталон Фабри-Перро, поляризационные спектрально-селектирующие элементы. Пространственное выжигание дырок в активной среде.

Тема 2. Формирование энергетических параметров излучения лазеров на неодимовом стекле

Уравнение Франца-Нодвига. Коэффициент усиления слабого сигнала, запасённая энергия, плотность энергии насыщения, сечение усиления. Режим насыщения усиления. Режим усиления излучения по трёх- и четырёхуровневой схеме. Эффективность энергосъёма. Влияние длительности лазерного импульса на эффективность энергосъёма. Проблемы получения предельной энергии излучения на выходе современных лазерных систем на неодимовом стекле.

Тема 3. Формирование временных параметров излучения лазеров на неодимовом стекле

Методы генерации лазерных импульсов наносекундного и пикосекундного диапазона длительностей. Режим свободной генерации. Пассивная и активная модуляция добротности. Красители и кристаллы с центрами окраски. Режим синхронизации мод в задающих генераторах. Применение ячеек Поккельса и Керра для формирования заданной временной формы лазерного импульса. Лазерный разрядник. Временная форма импульса излучения современных лазерных установок на неодимовом стекле для проведения экспериментов в области лазерного термоядерного синтеза.

Тема 4. Формирование угловых параметров излучения лазеров на неодимовом стекле

Понятие расходимости излучения. Расходимость Гауссова пучка. Дифракционная расходимость пучка сформированного квадратной и круглой диафрагмой. Метод определения дифракционной расходимости. Влияние неточности изготовления формы рабочих поверхностей оптических элементов на расходимость излучения. Методы снижения расходимости излучения. Пространственный фильтр. Адаптивная оптика.

Тема 5. Формирование пространственных параметров излучения лазеров на неодимовом стекле

Требования к пространственным параметрам пучков современных лазерных установок на неодимовом стекле. Понятие коэффициента заполнения апертуры пучка. Причины снижения коэффициента заполнения апертуры пучка в лазерных системах. Методы компенсации неоднородного распределения коэффициента усиления излучения в лазерных системах с дисковыми активными элементами. Назначение систем аподизации лазерного пучка. Системы аподизации пучка на основе двулучепреломляющих элементов и зубчатых диафрагм. Системы формирования пространственного профиля пучка современных лазерных установок на неодимовом стекле.

4. Мощные лазерные системы на неодимовом стекле для ЛТС

Тема 1. Развитие мощных лазерных систем для ЛТС

Основные задачи научно-исследовательских программ по ЛТС. Этапы развития исследовательских программ по ЛТС. Метод прямого и непрямого облучения мишеней. Современная оценка энергии лазерного излучения для достижения положительного энергетического выхода при зажигании мишени. Требования к пространственно-временным параметрам излучения при облучении мишеней прямым и непрямым методом.

Тема 2. Принципы построения оптической схемы мощного лазера для ЛТС

Блок-схема лазерной установки. Задающий генератор, каскады предварительного усиления, главный усилительный тракт, преобразование излучения в высшие гармоники, мишенная камера, системы диагностики параметров лазерного излучения и плазмы. Схемы прямого последовательно-параллельного усиления. Схемы многопроходного усиления. Схемы с компрессией импульсов. Преимущества и недостатки различных типов схем усиления. Выбор схемы усиления в современных лазерных системах для ЛТС.

Тема 3. Обзор крупнейших лазерных установок для ЛТС с наносекундной длительностью импульса прошлого поколения (СССР)

Принципы построения и основные достижения в области ЛТС лазерных установок: Кальмар, Прогресс, Дельфин. Генерация первых в мире лазерных термоядерных нейтронов.

Тема 4. Обзор крупнейших лазерных установок для ЛТС с наносекундной длительностью импульса прошлого поколения (США)

Принципы построения и основные достижения в области ЛТС лазерных установок: Long Path Laser, Janus, Cyclops, Argus, Shiva, Pharos II, Omega, Nova. Преимущества перехода от силикатных стёкол к фосфатным, разработка методов подавления мелкомасштабной самофокусировки.

Тема 5. Обзор крупнейших современных лазерных установок для ЛТС с наносекундной длительностью импульса (Россия, США)

Принципы построения и основные достижения в области ЛТС лазерных установок: Луч, Beamlet, NIF. Преодоление мегаджоульного барьера ультрафиолетового излучения. Перспективы развития лазерных систем для ЛТС. Лазерный термоядерный реактор. Проект HIPER.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Использование файлов-презентаций с задачами по темам занятий.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Н.Н.Рукавишников, Б.Г.Зималин . Методическое пособие «Неодимовые лазеры» Саров, 2011 г.
2. Н.Н.Рукавишников, Б.Г.Зималин. Методическое пособие «Мощные лазерные установки на неодимовом стекле». Саров, 2011 г
- 3 А.А.Мак, Л.Н.Сомс, В.А.Фромзель, В.Е.Яшин. Лазеры на неодимовом стекле М., "Наука", 1990г.
- 4 О.Звелто. Принципы лазеров. М., "Мир", 1990г.
- 5 Н.Е.Алексеев, В.П.Гапонцев, М.Е.Жаботинский, В.Б.Кравченко, Ю.П.Рудницкий. Лазерные фосфатные стёкла. М., "Наука", 1980г.
- 6.Дж.Л.Эммет, У.Ф.Крупке, Дж.Б.Тренхольм. Будущее мощных твёрдотельных лазерных систем. Квантовая электроника, т.10, №1, 1983г., стр.5-44.
7. Ландсберг Г.С Оптика. М., «Наука», 1976г.
8. А.Л.Микаэлян, М.Л.тер-Микаэлян, Ю.Г.Турков. Оптические генераторы на твёрдом теле. М., «Советское радио», 1967г.
9. М.Борн, Э.Вольф Основы оптики. М., «наука», 1973г.
10. И.С.Маршак. Импульсные источники света. М.-Л.: Энергия, 1978г.
11. С.Г.Лукишова, И.К.Красюк, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. Аподизация световых пучков как метод повышения яркости лазерных установок на неодимовом стекле. Труды института общей физики АН СССР, т.7, стр.92-147, 1987г.

Дополнительная литература

1. Y.Kato, H.Yoshida, H.Fujita, S.Nakai. Temporal waveform control of laser pulse by frequency chirping. Fusion Engineering and design, 44 (1999), 427-430.
2. Справочник по лазерам, том 1. Перевод с англ. под ред. А.М.Прохорова.М., «Советское радио», 1978г.
3. В.Е.Гаврилов. Распределение энергии в спектре излучения ксеноновых импульсных трубчатых ламп. Оптика и спектроскопия, т.59, вып.2, 1985г., стр.426-431.
4. А.В.Левашкин, А.А.Мак, В.А.Фромзель. Влияние потерь в импульсной лампе на предельную эффективность лазеров на неодимовом стекле. Квантовая электроника, т.16, №1, 1989г., стр.167-170.
5. А.Р.Кузнецов, С.Г.Лунтер, А.Г.Плюхин, М.Н.Толстой, Ю.К.Фёдоров. Эффективность поглощения света ксеноновых ламп накачки неодимовым стеклом. Квантовая электроника, т.16, №10, 1989г., стр.2101-2106.
6. И.С.Байков, В.В.Безотосный. Полупроводниковые лазерные диоды. Прикладная физика, 2-95, стр.3-35.
7. K.Naito, M.Yamanaka, M.Nakatsuka, T.Kanabe, C.Yamanaka, X.Nakai. Conceptual design studies of a laser diode pumped solid state laser system for the laser fusion driver. Jpn.J.Appl.Phys., 1992, v.31, №2A, 259-273.
8. C.D.Marshall, S.A.Payne, M.E.Emanuel, L.K.Smith, H.T.Powell, W.F.Krupke. Diode-pumped solid-state laser driver experiments for inertial fusion energy applications. First Annual International Conference on Solid State Lasers for Application to Inertial Confinement Fusion. 31 May – 2 June 1995, Monterey, California. SPIE, v.2633, pp.282-289.
9. П.Г.Крюков, В.С.Летохов. Распространение импульса света в резонансно усиливающей (поглощающей) среде. Успехи физических наук, 1969г., т.99, вып.2, стр.169-227.
10. А. Джеррард, Дж.М.Бёрч. Введение в матричную оптику. М., «Мир», 1978г.
11. C.Bibeau, J.B.trenholme, S.Payne. Pulse Length and Terminal-Level Lifetime Dependence of Energy Extraction for Neodymium-Doped Phosphate Amplifier Glass. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.32, No.8, August 1996, pp.1487-1496.
12. Е.В.Ешметьева, В.И.Королёв, Е.П.Меснякин, В.А.Серебряков, В.В.Шашкин, В.Е.Яшин. О предельных энергетических параметрах излучения в лазерных системах на неодимовом стекле. Квантовая электроника, т.19, №9 (1992), стр.837-841.
13. Н.Ф.Борисова и др. Формирование лазерного пучка с равномерным пространственным распределением. Квантовая электроника, т.18, №3, 1991г., стр.355-358.
14. B.M.Van Wonterghem, J.R.Murray, J.H.Campbell, et al. Performance of a prototype for a large-aperture multipass Nd:glass laser for inertial confinement fusion. Applied optics, Vol.36, No.21, July 1997, pp.4932-4953.
15. O.E.Martinez. Design of High-Power Ultrashort Pulse Amplifiers by Expansion and Recompression. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-23, No.8, August 1987, pp.1385-1387.
16. B.C.Stuart, M.D.Perry, J.Miller, et al. 125-TW Ti:sapphire/Nd:glass laser system. Optics Letters, Vol.22, No.4, February 15, 1997, pp.242-244.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://ufn.ru/> «Успехи физических наук» обзоры по актуальным физическим проблемам

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Использование файлов (в формате pdf), содержащих визуальный материал для лекций в виде презентаций, а также при необходимости специализированных научных реферируемых журналов: российских (УФН, ЖЭТФ, письма в ЖЭТФ, Физика твердого тела и др) и англоязычных (Physical Review Letters, Physical Review A, Physical Review B, Journal of Chemical Physics, International Journal of Quantum Chemistry и др.), доступных через Internet. Для контроля и коррекции знаний обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование, в том числе на портале www.i-exam.ru.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и подходы к физике и оптике неодимовых лазеров, знать основные модели и их недостатки и достоинства, применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала (по материалам лекций в виде презентации), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций или контроля.

При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученный материал. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Так как важно добиться понимания изучаемого материала, при затруднении в восприятии материала студентам рекомендуется обращаться за консультациями к преподавателю.

Промежуточный контроль знаний проводится в виде экзамена, на котором студенту предлагается письменно ответить на теоретический вопрос, решить одну задачу и ответить на вопросы по теме курса.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Б.Г. Зималин, канд. физ.-мат. наук, преподаватель

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Неодимовые лазеры» обучающийся должен:

знать:

- спектроскопию лазерных переходов в атомах Nd^{3+} ;
- спектрально-люминесцентные, оптические и другие (радиационное время жизни, сечение усиления, теплопроводность, коэффициент термического расширения) характеристики силикатных и фосфатных неодимовых стекол;
- характеристики кристаллических активных сред YAG:Nd и YLF:Nd для неодимовых лазеров, их спектрально-люминесцентные и другие физические параметры (радиационное время жизни, сечение усиления, теплопроводность, коэффициент термического расширения);
- нелинейные и прочностные свойства лазерных стекол;
- способы и источники накачки;
- различные способы модуляции добротности резонатора, применяемые в неодимовых лазерах;
- спектр излучения лазеров на неодимовом стекле и методы управления им;
- режим усиления, балансное приближение, уравнение Франца-Нодвика;
- цели и способы формирования пространственно-угловых характеристик пучка в лазерах на неодимовом стекле;
- контраст излучения, от чего зависит контраст, методы и устройства для получения высокого контраста излучения;
- принципы построения крупномасштабной лазерной установки, ее основные системы (на примере установок Shiva, Nova, Omega, LMJ, NIF, “Кальмар”, “Прогресс”, “Дельфин”, “Луч”).

уметь:

- проводить экспериментальные исследования нелинейно-оптических процессов.
- выбирать параметры неодимсодержащих лазерных сред задающего генератора и усилительного тракта лазерной установки для оценки запасенной энергии методом сводной генерации, оценивать запасенную энергию по величине энергии свободной генерации;
- оценивать запасенную энергию усилительного тракта лазерной системы и предельные возможности энергосъёма при различных параметрах лазерного пучка;
- проводить расчёт параметров пространственно-угловых селекторов для обеспечения угловой оптической развязки между усилительными каскадами и согласования апертур пучка и оптических элементов на разных участках оптического тракта;
- оценивать допустимые паразитные отражения в ждущем режиме (в режиме накопления инверсной населенности).

владеть:

- навыками анализа и решения проблем формирования пучка в современных лазерных системах на неодимовой активной среде;
- методами управления основными параметрами лазерного пучка;
- методами измерения параметров лазерного пучка с проведением дальнейшего их анализа.
- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- экспериментальными и теоретическими методами исследования работы неодимовых лазеров.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Формы контроля: промежуточный – домашние задания, контрольные работы – экзамен- 10семестр.

Контрольные вопросы:

Раздел 1. Основные параметры лазерных неодимовых сред и методы их определения

1. Назовите основные длины волн генерации неодимовых фосфатных и силикатных стёкол.
2. Назовите основные длины волн генерации кристаллов Nd:YAG и Nd:YLF.
3. Что такое однородное и неоднородное уширение линии люминесценции?
4. Назовите преимущества и недостатки кристаллических неодимсодержащих сред.
5. Объясните механизм возникновения мелкомасштабной самофокусировки лазерного пучка.
6. Что такое В-интеграл?
7. Назовите методы подавления самофокусировки лазерного пучка.
8. Назовите основные факторы, повышающие риск разрушения оптических элементов под действием лазерного излучения.

Раздел 2. Принципы организации инверсной населённости в неодимовых средах и методы получения максимального энергосъёма

1. Что такое суперлюминесценция?
2. Назовите методы снижения паразитной генерации лазерного излучения в усилительном тракте и внутри усилительных каскадов на неодимовом стекле.
3. Объясните принцип действия затворов Поккельса и Фарадея.
4. Приведите пример двух и четырёхпроходной схемы усиления.
5. Объясните принцип организации регенеративного усилителя.
6. Что такое фактор нагрузки импульсной газонаполненной лампы?
7. Что такое излучательный КПД источника накачки?
8. Что такое квантовый КПД?

Раздел 3. Управление параметрами лазерного пучка неодимовых лазеров

1. Объяснить принцип пассивной и активной модуляции добротности.
2. Почему при формировании лазерного пучка методом модуляции добротности необходимо продолжительное (~мкс) время развития генерации излучения в резонаторе?
3. Для чего применяется и каким образом осуществляется синхронизация мод в резонаторе?
4. Что такое составной резонатор и для чего применяется?
5. Принцип селекции мод эталоном Фабри-Перро.
6. Почему при уменьшении длительности лазерного импульса снижается эффективность энергосъёма в усилительных каскадах?
7. Что такое аподизация лазерного пучка и для чего применяется?
8. Объяснить принцип действия адаптивного зеркала.

Раздел 4. Мощные лазерные системы на неодимовом стекле для ЛТС

Рассказать об конструктивных особенностях и основных достижениях на лазерных установках:

1. Long Path Laser, Janus, Cyclops и Argus
2. Shiva
3. Pharos II
4. Omega
5. Nova
6. Beamlet
7. “Кальмар”
8. “Прогресс”
9. “Дельфин”
10. “Луч”

Основные задачи:

1. При каком коэффициенте усиления слабого сигнала K_0 на выходе усилителя достигается плотность выходной энергии $\varepsilon_{\text{вых}} = 10 \text{ Дж/см}^2$. Диаметр пучка 5 см, входная энергия 1 Дж. Какова активная длина усилителя, если $\alpha_{\text{ус}} = 0,12 \text{ см}^{-1}$? Плотность энергии насыщения $4,5 \text{ Дж/см}^2$. Воспользоваться приближением Франца-Нодвига.

Параметры усилительного каскада на Nd фосфатном стекле:

- длина активной среды $L = 25 \text{ см}$;
- коэффициент усиления слабого сигнала $K_0 = 0,06 \text{ см}^{-1}$;
- распределение K_0 по апертуре усилителя – равномерное;
- плотность энергии насыщения $\varepsilon_{\text{нас}} = 4,5 \text{ Дж/см}^2$.

Параметры лазерного излучения на входе:

- распределение плотности энергии в пучке – равномерное;
- площадь пучка 10 см^2 ;
- длительность усиливаемого импульса $\approx 10 \text{ нс}$.

2. Определить энергию лазерного пучка на выходе усилительного каскада (воспользоваться приближением Франца-Нодвига).

3. Из кристаллического кварца необходимо изготовить четвертьволновую фазовую пластинку $\lambda/2$ на длине волны $\lambda_1 = 1054 \text{ нм}$. Определить минимально возможную толщину такой пластинки.

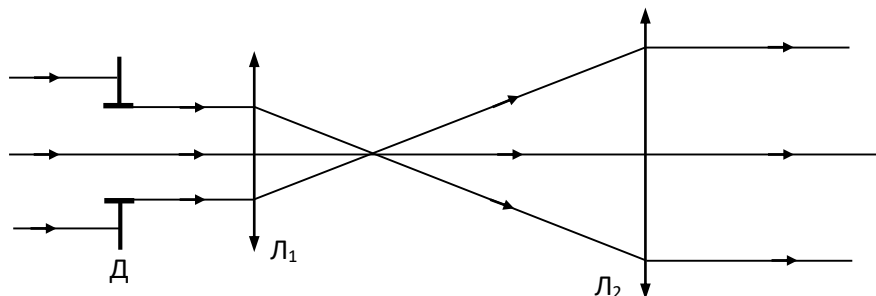
4. Интерферометр Фабри-Перро представляет плоскопараллельную пластину толщиной $d = 5 \text{ мм}$ с показателем преломления $n = 1,5$. На обе грани нанесено зеркальное покрытие $R_1 = R_2 = 80\%$ ($\lambda_0 = 1054 \text{ нм}$). Определить дисперсию и резкость интерферометра. При каком минимальном угле наклона к падающему излучению θ (плоская волна) он будет иметь пропускание $T_{\text{max}} = 100\%$ на λ_0 ?

5. На вход усилительного каскада подаётся лазерный импульс с энергией 4 Дж, апертура пучка - квадрат размером $2 \times 2 \text{ см}$, пространственный профиль интенсивности - прямоугольный. Плотность энергии насыщения активной среды $\varepsilon_{\text{нас}} = 4.5 \text{ Дж/см}^2$, плотность запасённой энергии $\varepsilon_{\text{зап}} = 10.4 \text{ Дж/см}^2$. Определить энергию лазерного импульса на выходе каскада. Считать, что процесс усиления происходит по идеальной четырёхуровневой системе.

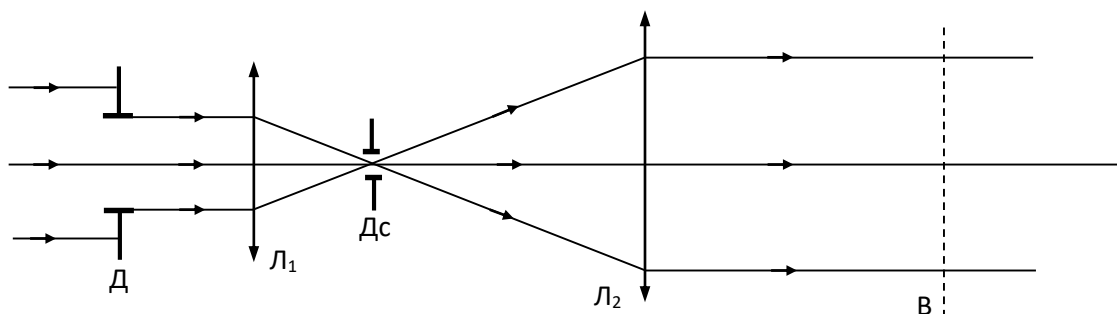
6. Усилительный каскад содержит стержень из кристалла Nd:YAG диаметром $\varnothing 30 \text{ мм}$ и длиной $L = 19.5 \text{ см}$. Плотность энергии насыщения Nd:YAG – 0.55 Дж/см^2 , коэффициент усиления слабого сигнала $g_0 = 0.35 \text{ 1/см}$. Определить коэффициент усиления K_0 слабого сигнала и общую запасённую энергию в каскаде. Считать, что процесс усиления происходит по идеальной четырёхуровневой системе.

7. Требуется рассчитать минимальную длину активного элемента, выполненного из фосфатного стекла, при которой возможна работа в следующем режиме усиления: входной импульс - квадратной апертуры $2 \times 2 \text{ см}$ с прямоугольным пространственным профилем интенсивности, энергия $E_{\text{вх}} = 4 \text{ Дж}$; энергия выходного импульса $E_{\text{вых}} = 16 \text{ Дж}$. Плотность энергии насыщения фосфатного стекла $\varepsilon_{\text{нас}} = 4.5 \text{ Дж/см}^2$, коэффициент усиления слабого сигнала $g_0 = 0.08 \text{ 1/см}$.

8. В оптической схеме, приведённой на рисунке, формируют резкое изображение апертурной диафрагмы D размером 10×10 мм. Перестроение изображения диафрагмы D осуществляют телескопом, образованного линзами $F_{Л1}=1\text{м}$ и $F_{Л2}=3\text{м}$ (телескопическая система). Расстояние между диафрагмой D и линзой L_1 – $a=0.5$ м. Определить размер и местоположение относительно линзы L_2 изображения диафрагмы D , а также дифракционную расходимость $\theta_{\text{дифр}}$ пучка на выходе телескопа. Считать, что на диафрагму D падает идеально коллимированный пучок лазера на неодимовом стекле, полностью покрывающий апертуру диафрагмы. Аберрациями и толщинами линз пренебречь.

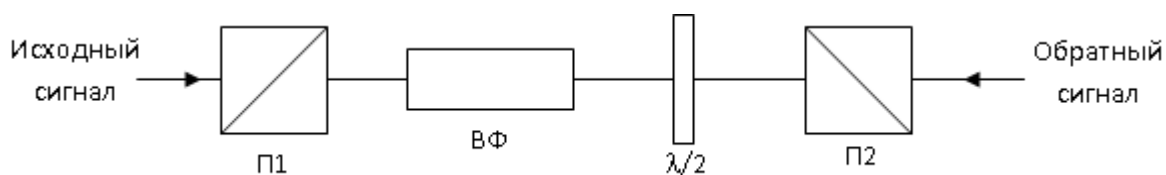


9. В оптической схеме, приведённой на рисунке, формируют пучок излучения неодимового лазера в плоскости B . Оптическая схема состоит из апертурной круглой диафрагмы D диаметром $\varnothing 5\text{мм}$ и пространственного фильтра, состоящего из линз $F_{Л1}=2\text{м}$ и $F_{Л2}=4\text{м}$ (телескопическая система), и селектирующей диафрагмы D_c , расположенной между линзами в их общей фокальной плоскости. Определить размер d селектирующей диафрагмы D_c , если требуется провести угловую селекцию пучка на уровне $3 \times \theta_{\text{дифр}}$. Будет ли изображение диафрагмы в плоскости B резким? Считать, что на диафрагму D подаётся идеально коллимированный пучок, полностью покрывающий её апертуру. Аберрациями и толщинами линз пренебречь.



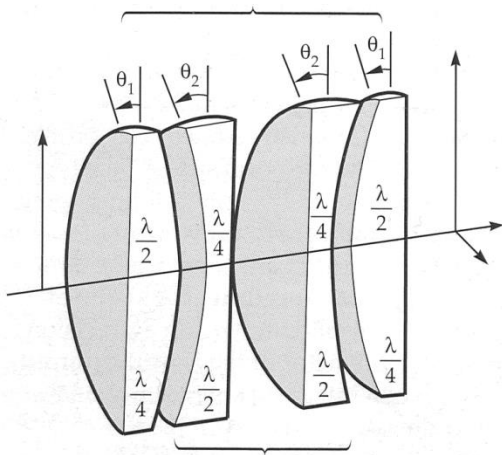
10. Дисковый усилительный каскад лазерной установки “Луч” содержит 9 слэбов. Проведённые измерения показали, что коэффициент усиления слабого сигнала K_0 при некотором зарядном напряжении на батарее равен 7. Толщина каждого слэба $d=4$ см, слэбы расположены под углом Брюстера относительно падающего излучения. Определить коэффициент усиления слабого сигнала g_0 . Поглощением излучения пренебречь.

11. Затвор Фарадея, применяемый для защиты оптического тракта от обратного сигнала, состоит из двух скрещенных поляризаторов P_1 и P_2 , между которыми расположены вращатель Фарадея $ВФ$ и фазовая пластинка $\lambda/2$. Определить с какой угловой точностью необходимо устанавливать ось z фазовой пластинки, чтобы через поляризатор P_1 в схему попадало не более 1% интенсивности излучения обратного сигнала.



Дополнительные задачи:

1. Одним из ключевых элементов, формирующих пространственный профиль интенсивности пучка установки Beamlet, является система, состоящая из четырёх линз, выполненных из двулучепреломляющего материала. Толщины линз в центре и на краях кратны либо $\lambda/2$ либо $\lambda/4$ (см. рисунок). Оси z линз расположены в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы. На вход системы подаётся линейно поляризованный в вертикальной плоскости пучок. Посредством вращения внешней и внутренней пары линз можно менять пропускание излучения на краях и в центре пучка, тем самым, например, можно вершину пучка с Гауссовым пространственным профилем интенсивности сделать плоской. Определить пропускание излучения в центре и на краях апертуры данной системы в зависимости от угла между плоскостью поляризации излучения и осями z внешней (угол θ_1) и внутренней (угол θ_2) пары линз.



2. Длина резонатора 150 см. Определить спектральный интервал между двумя соседними продольными модами резонатора на длине волны 1 мкм. Ответ привести в Гц, см^{-1} , см, мкм, нм, ангстремах.

3. Интерферометр Фабри-Перро представляет плоскопараллельную пластину толщиной $d=5\text{мм}$ с показателем преломления $n=1,5$. На обе грани нанесено зеркальное покрытие $R_1=R_2=80\%$ ($\lambda_0=1054\text{нм}$). Определить дисперсию и резкость интерферометра. При каком минимальном угле наклона к падающему излучению θ (плоская волна) он будет иметь пропускание $T_{\text{max}}=100\%$ на λ_0 ?

ВОПРОСЫ к экзамену

1. Структура лазерных уровней Nd^{3+} . Времена релаксации.
2. Основные характеристики (время жизни возбуждённого состояния, ширина линии люминесценции, сечение вынужденного излучения) активной среды неодимовых лазеров на фосфатном и силикатном стекле.
3. Основные характеристики (время жизни возбуждённого состояния, ширина линии люминесценции, сечение вынужденного излучения) кристаллических активных сред ($\text{Nd}:\text{YAG}$, $\text{Nd}:\text{YLF}$) неодимовых лазеров.
4. Нелинейные свойства активной среды неодимовых лазеров. В-интеграл.
5. Лучевая прочность активной среды и оптических элементов неодимовых лазеров. Методы определения лучевой прочности.
6. Источники накачки неодимовых лазеров. КПД систем накачки.
7. Задающие генераторы наносекундной длительности импульса. Пассивная и активная модуляция добротности резонатора. Модулирующие устройства.
8. Методы и устройства формирования временного профиля лазерного импульса.
9. Вентиль и затвор Фарадея. Принцип работы и назначение.
10. Спектр излучения лазеров на неодимовом стекле. Продольные моды резонатора. Селекция продольных мод.
11. Селекция продольных мод с помощью интерферометра Фабри-Перро.

12. Селекция продольных мод с помощью внутрирезонаторной фазовой пластины.
13. Режим усиления. Энергия насыщения. Формула Франца-Нодвика.
14. Физические величины, характеризующие качество пучка и методы их измерения.
15. Пространственно-угловые характеристики лазерного излучения и методы их регистрации.
16. Факторы и параметры, определяющие качество пучка.
17. Адаптивные зеркала. Назначение. Принцип работы.
18. Пространственные фильтры. Назначение. Принцип работы.
19. Структурная схема, назначение и характеристика основных систем установок наносекундной длительности.
20. Многопроходные усилители. Принцип построения оптических схем многопроходного усилительного канала.

На экзамене студенту достается билет, где ему предлагается

- 1.) письменно ответить на теоретический вопрос,
- 2.) решить одну задачу и
- 3.) ответить на вопросы по теме курса.

Теоретический вопрос выбирается из набора контрольных тем, приведенных выше. Задача выбирается из списка контрольных задач, приведенных выше. Некоторые из дополнительных (уточняющих) вопросов приведены выше.

4. Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении экзамена студенту предоставляется 35-50 минут на подготовку ответа по выбранной теме и решению задачи. Ответ студента длится 15-25 минут. Если задача решена неправильно, студенту указывается на его ошибку и предлагается решить заново с учетом замечания.

Оценка ставится по итогам текущей успеваемости, результатам ответов на контрольные вопросы и решения контрольной задачи.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, справочной литературой, вычислительной техникой, и своими конспектами.