**Министерство науки и образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**

**МФТИ(ГУ)**

**Кафедра «Лазерные системы и структурированные материалы»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

**Ю.Н. Волков**

**2012 г**.

.

**Рабочая УЧЕБНАЯ Программа**

**по дисциплине:** **Основы лазерной физики**

**по направлению:** 010900 «Прикладные математика и физика»

**профиль подготовки:** Современные проблемы физики и энергетики

**факультеты:** **ПФЭ**

**кафедра Лазерные системы и структурированные материалы**

**курс:** 4 (бакалавриат)

**семестры:** осенний **экзамен** 7 **семестр**

**Трудоёмкость в зач. ед.:** вариативная часть – **2** **зач. ед**.;

**в т.ч.:**

**лекции:** вариативная часть – **34 час.**

**практические (семинарские) занятия: нет**

**лабораторные занятия:** **нет**

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет

**самостоятельная работа:** вариативная часть– **нет**

**курсовые работы:** нет

**подготовка к экзамену:** вариативная часть – **1 зач. ед.**

**ВСЕГО Аудиторных часов 34**

**Программу составил** к.ф.-м.н., Туморин Виктор Владимирович

**Программа обсуждена на заседании кафедры**

«18» сентября 2012 г.

Заведующий кафедрой академик, профессор И.А.Щербаков

**ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариативная часть, в т.ч. :** | \_\_2\_\_\_ зач. ед. |
| Лекции | \_\_34\_\_\_ часов |
| Практические занятия | \_\_нет\_\_ часов |
| Лабораторные работы | \_\_нет\_\_\_ часов |
| Индивидуальные занятия с преподавателем | \_\_нет\_\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия | \_\_нет\_\_ часов |
| **Итоговая аттестация** | **Экзамен 7 семестр, 1 зач. ед.** |
| **ВСЕГО** | **2 зач. ед.** |

1. **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

***Цель курса –*** Целью курса является изучение физических основ лазеров, принципов их работы и освоение методики получения лазерной генерации.

***Задачами данного курса являются:***

* освоениестудентами базовых знаний в области лазерной физики***;***
* приобретение теоретических знаний в области физики процессов, протекающих в твердотельных и газовых лазерных средах при создании инверсной населенности;
* приобретение теоретических знаний в области теории лазерных резонаторов и методов управления параметрами лазерного излучения.

1. **Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

***Дисциплина*  Основы лазерной физики *включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативным части цикла \_Б.3\_ кода УЦ ООП.***

***Дисциплина* Основы лазерной физики *базируется на циклах Б.2 курса 1,2,3 базовой и вариативных частях.***

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

***Освоение дисциплины* Основы лазерной физики *направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций бакалавра:***

***а) общекультурные (ОК):***

* способность анализировать научные проблемы и физические процессы, использовать на практике фундаментальные знания, полученные в области естественных и гуманитарных наук (ОК-1);
* способность осваивать новые проблематику, терминологию, методологию и овладевать научными знаниями, владеть навыками самостоятельного обучения (ОК-2);
* способность логически точно, аргументировано и ясно формулировать свою точку зрения, владеть навыками научной и общекультурной дискуссией (ОК-3);
* готовность к творческому взаимодействию с коллегами по работе и научным коллективом, способность и умение выстраивать межличностное взаимодействие, соблюдая уважение к товарищам и проявляя терпимость к иным точкам зрения (ОК-4);

б) профессиональные (ПК):

* способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные в области физических и математических дисциплин, включая дисциплины: общая физика, теоретическая физика, электродинамика, квантовая механика, статистическая физика, высшая математика (ПК-1);
* способность применять различные методы физических исследований в избранной предметной области: экспериментальные методы, статистические методы обработки экспериментальных данных, вычислительные методы, методы математического и компьютерного моделирования объектов и процессов (ПК-2);
* способность понимать сущность задач, поставленных в ходе профессиональной деятельности, использовать соответствующий физико-математический аппарат для их описания и решения (ПК-3);
* способность использовать знания в области физических и математических дисциплин для дальнейшего освоения дисциплин в соответствии с профилем подготовки (ПК-4);
* способность работать с современным программным обеспечением, приборами и установками в избранной области (ПК-5);
* способность представлять результаты собственной деятельности с использованием современных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчетов, презентаций, докладов (ПК-6);
* готовность работать с исследовательским оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области (ПК-7);

1. **конкретные Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

**В результате освоения дисциплины «Основы лазерной физики» обучающийся должен:**

* 1. **Знать:**
* фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
* порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
* современные проблемы физики, химии, математики;
* особенности создания инверсной населенности в твердотельных и газообразных лазерных средах;
* методы управления параметрами лазерного излучения;
  1. **Уметь:**
* абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
* пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
* делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
* производить численные оценки по порядку величины;
* делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
* видеть в технических задачах физическое содержание;
* осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
* получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
* работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
* эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.
  1. **Владеть:**
* навыками освоения большого объема информации;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
* культурой постановки и моделирования физических задач;
* навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
* практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
* навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с разработкой и практическим применением современных лазерных систем.

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Структура дисциплины**

**Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам**

|  |  |
| --- | --- |
| № темы и название | Количество часов |
| 1. Исторический обзор создания первых лазеров. | 2 |
| 2. Твердотельные лазерные среды, активированные ионами переходных металлов группы железа. | 4 |
| 3. Твердотельные лазерные среды, активированные ионами редкоземельных элементов. | 4 |
| 4. Не-Ne лазер. | 2 |
| 5. Лазеры на парах металлов. | 2 |
| 6. СО и СО2 лазеры. | 4 |
| 7. Эксимерные лазеры | 2 |
| 8. Полупроводниковые лазеры. | 4 |
| 9. Теория лазерных резонаторов | 4 |
| 10. Методы управления параметрами лазерного излучения. | 6 |
| ВСЕГО (зач. ед.(часов)) | 34 час. (1 зач.ед.) |

**Вид занятий**

**лекции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость в зач. ед.  (количество часов) |
| 1 | Исторический обзор создания первых лазеров. | 2 |
| 2 | Твердотельные лазерные среды, активированные ионами переходных металлов группы железа. | 4 |
| 3 | Твердотельные лазерные среды, активированные ионами редкоземельных элементов. | 4 |
| 4 | Не-Ne лазер. | 2 |
| 5 | Лазеры на парах металлов. | 2 |
| 6 | СО и СО2 лазеры. | 4 |
| 7 | Эксимерные лазеры | 2 |
| 8 | Полупроводниковые лазеры. | 4 |
| 9 | Теория лазерных резонаторов | 4 |
| 10 | Методы управления параметрами лазерного излучения. | 6 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 34 |

* 1. **Содержание дисциплины**

**Развёрнутые темы и вопросы по разделам**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Название модулей | Разделы и темы лекционных занятий | Содержание | Объем | |
| Аудиторная работа  (зачетные  единицы/часы) | Самостоятельная работа  (зачетные  единицы/часы) |
| 1 | Исторический обзор создания первых лазеров. | Лекция 1. | Введение. Физические предпосылки создания лазеров. Спонтанное и вынужденное излучение в долазерной оптике; поглощение, процессы релаксации. Методы создания инверсной населенности. Мазеры (аммиачный, рубиновый). | 2 |  |
| 2 | Твердотельные лазерные среды, активированные ионами переходных металлов группы железа. | Лекции 2 и 3 | Лазер на рубине. Основное состояние иона Cr3+ (правило Хунда). Схема уровней иона Cr3+ в поле кубической симметрии. Трехуровневая схема накачки. Лазерные переходы.  Лазер на александрите. Электронно-колебательные переходы. Принцип Франка-Кондона.  Лазер на титан-сапфире. | 4 |  |
| 3 | Твердотельные лазерные среды, активированные ионами редкоземельных элементов. | Лекции 4 и 5 | Электронные термы редкоземельных ионов. Прямые и обращенные мультиплеты.  Неодимовый лазер. Схема уровней. Кросс-релаксация и ап-конверсия в системе ионов Nd3+. Неодимовые лазеры на кристаллах и стеклах. Уширение спектральных линий, однородное и неоднородное уширение.  Эрбиевый лазер. Правило дополнительности. Время жизни уровней. Саомоограниченный переход. Роль ап-конверсии при высоких концентрациях ионов Er3+.  Гольмиевый лазер. Трансформация энергии накачки в гольмиевом лазере.  Итербиевый лазер. Волоконные лазеры. | 4 |  |
| 4 | Не-Ne лазер. | Лекция 6 | Виды газовых лазеров. Возбуждение электронным ударом. Законы подобия газовых разрядов.  Не-Ne лазер. Перенос возбуждения между атомами в газовом разряде. Зависимость выходной мощности Не-Ne лазера от плотности тока газового разряда. Методы стабилизации частоты генерации Не-Ne лазера. | 2 |  |
| 5 | Лазеры на парах металлов. | Лекция 7 | Лазеры на парах меди и золота. Роль пленения излучения на пререходе 2P – 2S в создании инверсной населенности. Использование неустойчивых телескопических резонаторов для получения высоконаправленного излучения. | 2 |  |
| 6 | СО и СО2 лазеры. | Лекции 8 и 9 | СО2 лазер. Моды колебания молекулы СО2. Роль N2 и Не в создании инверсной населенности. Колебательно – вращательные переходы и правила отбора для них. P, Q и R ветви люминесценции. Виды СО2 лазеров.  СО лазер. Роль ангармонической накачки. Частичная инверсия при колебательно-вращательных переходах. Каскадная генерация. | 4 |  |
| 7 | Эксимерные лазеры | Лекция 10 | Эксимерные лазеры. Разлетный нижний лазерный уровень. | 2 |  |
| 8 | Полупроводниковые лазеры. | Лекции 11 и 12 | Полупроводниковые лазеры. Собственные и примесные полупроводники, р-n переход. Прямозонные полупроводники. Условие инверсной населенности. Снижения порога генерации при переходе от гомоструктур к гетероструктурам, квантовым ямам, нитям, точкам. Роль согласования периода кристаллической решетки в лазерах на гетеропереходах. Квантовые каскадные лазеры. | 4 |  |
| 9 | Теория лазерных резонаторов | Лекции 13 и 14 | Теория лазерных резонаторов. Виды резонаторов. Устойчивые резонаторы, диаграмма устойчивости резонатора. Уравнение Гельмгольца и гауссовы пучки. Эрмит и Лаггер-гауссовые моды высших порядков. Дифракционные потери.  Матричная оптика. Закон ABCD преобразования гауссовых пучков. Фазовый сдвиг и спектр частот мод устойчивого резонатора без учета дифракции. Особенности конфокального резонатора. Резонатор с зеркалами конечного размера и неустойчивый резонатор. Эквивалентные резонаторы. | 4 |  |
| 10 | Методы управления параметрами лазерного излучения. | Лекции 15-17 | Режимы работы лазеров. Скоростные (кинетические) уравнения. Стационарная генерация и оптимизация выходной мощности излучения.  Нестационарные режимы: модуляция добротности резонатора лазера. Физические явления, используемые для модуляции лазерного излучения, основные типы модуляторов; электрооптические модуляторы, линейный электрооптический эффект (эффект Поккельса), акустооптические модуляторы, насыщающиеся поглотители.  Оптимизация энергии и пиковой мощности излучения лазера, работающего в режиме модулированной добротности.  Синхронизация мод (активная, пассивная), ультракороткие лазерные импульсы, способы их получения.  Усиление лазерного излучения. Ненасыщенное и насыщенное усиление, мощность и энергия насыщения. Возможная величина энергии (мощности), извлекаемая из усиливающей среды. | 6 |  |

**ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость в зач. Ед.  (количество часов) |
| 1 | Подготовка к экзамену | 1 зач.ед. |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 1 зач.ед. |

1. **Образовательные технологии**

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Вид занятия | Форма проведения занятий | Цель |
| 1 | лекции | Изложение теоретического материала | Получение теоретических знаний по дисциплине |
| 2 | лекции | изложение теоретического материала с помощью презентаций | Повышение степени понимания материала |
| 3 | лекции | Примеры применения результатов теоретических вычислений для конкретных практических применений. | Осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин |
| 4 | Самостоятельная работа студента | Изучение теоретического материала по темам занятий. Подготовка к сдаче экзамена. | Повышение степени понимания материала |

1. **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Контрольно-измерительные материалы**

**Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 5-ом семестре.**

1. Причины перехода от объемного к открытому резонатору в лазерную эпоху.
2. Правило Хунда. Электронные термы атомов и ионов. Прямой и обращенный мультиплеты. Правило дополнительности. На примере лантаноидов и элементов группы железа.
3. Электронно-колебательные переходы. Правило Франка – Кондона. На примере лазера на титан-сапфире и александрите.
4. Концентрационное тушение люминесценции на примере неодимовых лазерных сред. Кросс-релаксация и апконверсия в системе ионов. Параметр близости безызлучательным образом взаимодействующих центров.
5. Сенсибилизация неодимовых сред ионами хрома. Почему в некоторых кристаллах сенсибилизация более эффективна, чем в других.
6. Чем определяется предельный коэффициент усиления лазерных активных элементов. Запасенная энергия в активном элементе. Связь сечения вынужденного перехода и погонного коэффициента усиления лазерной среды.
7. Эрбиевый лазер. Апконверсионный режим работы эрбиевого лазера на 3 мкм в ИАГ и YLF. Предельный квантовый выход такого лазера при накачке на длине волны 970 нм. Почему лазер на стекле с эрбием не работает на длине волны 3 мкм.
8. Tm-Ho-ИАГ лазер. Предельный квантовый выход генерации такого лазера.
9. Законы подобия газовых разрядов.
10. Не-Ne лазер. Безызлучательная передача возбуждения в газах. Зависимость мощности генерации от тока разряда.
11. Лазеры на парах меди и золота. Самоограниченные переходы. Роль пленения излучения в этих лазерах.
12. СО2 лазер. Моды колебания молекулы СО2. Правила отбора переходов между колебательными состояниями. Роль Не и N2 в создании инверсной населенности. Правила отбора для момента импульса. P, Q, R ветви люминесценции. Виды СO2 лазеров.
13. СО лазер. Роль ангармонической накачки при низкой температуре. Частичная инверсная населенность. Каскадный режим генерации.
14. Эксимерные лазеры. Роль высокого давления газовой смеси. Импульсная накачка.
15. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Условие получения инверсной населенности в прямозонном полупроводнике.
16. Лазеры на гомо и гетеропереходах. Зависимость порогового тока от толщины активного слоя. Лазеры на квантовых ямах с раздельным ограничением.
17. Роль согласования периода решетки в лазерах на гетеропереходах. Типы полупроводниковых лазерных сред.
18. Элементы матричной оптики. Устойчивость “сложных” лазерных резонаторов. Разница между устойчивым и неустойчивым резонаторами.
19. Комплексный параметр гауссового пучка. Закон ABCD для гауссовых пучков. Размер моды “сложного” резонатора.
20. Моды высших порядков. Эрмит-гауссовые и лагерр-гауссовые моды.
21. Режим модулированной добротности резонатора. Остаточная инверсная населенность.
22. Суть метода синхронизация мод резонатора. Типы модуляторов, применяемых при синхронизации мод. Синхронизация мод за счет керровской самофокусировки пучка.
23. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**
    1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)
    2. **Необходимое программное обеспечение**
    3. **Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам** Physica Status Solidi b, Physical Review, ,J of Apply Physics.
24. **Наименование возможных тем курсовых работ –**учебным планом не предусмотрены
25. **ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ –**учебным планом не предусмотрены
26. **ТЕМАТИКА ИТОГОВЫХ РАБОТ –**учебным планом не предусмотрены
27. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**
    1. **Основная литература.**
28. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. Москва, “Наука”,1988.
29. О.Звелто. Принципы лазеров. Санкт-Петербург, “Лань”, 2008.
30. А.Ярив. Квантовая электроника. Москва, “Советское радио”, 1980.
31. А.К. Пржевуский, Н.В. Никоноров. Конденсированные лазерные среды. Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2009
32. Справочник по лазерам, т.1,2. Под ред. А.М.Прохорова. Москва, “Советское радио”, 1978.

**Дополнительная литература.**

1. Ф.Качмарек. Введение в физику лазеров. Москва, “Мир”, 1981.
2. Л.В. Тарасов. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. Москва, “Радио и связь”, 1981.

Программу составил

В.В.Туморин, к.ф.–м.н.

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.