

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт сильноточной электроники  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
директор ИСЭ СО РАН  
академик РАН

 Н. А. Ратахин

« 24 » августа 2018 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### «Мощные импульсные газовые лазеры»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —  
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

| № п/п | Направление подготовки          | Наименование ОПОП (профиль подготовки) | Место дисциплины в учебном плане                 |
|-------|---------------------------------|--|--|
| 1     | 03.06.01<br>Физика и астрономия | Оптика                                 | Вариативная часть,<br>обязательная<br>дисциплина |

# 1. Общая характеристика дисциплины

## 1.1. Место дисциплины в структуре ООП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Дисциплина изучает физические процессы, лежащие в основе работы мощных импульсных газовых лазеров (усилителей и генераторов), принципы создания таких лазеров, возможности использования для этих целей техники и технологий мощной импульсной энергетики и электроники, а также применение излучения таких лазеров для решения фундаментальных и прикладных задач.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен знать:

- фундаментальные основы лазерной физики, электротехники, физики газового разряда, физики пучков заряженных частиц, импульсной и ускорительной техники, оптики и квантовой электроники;

и уметь:

- применять методы дифференциального и интегрального исчислений.
- использовать персональный компьютер для решения научных задач.

## 1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является углубленное изучение методологических и теоретических основ физики и техники, мощных импульсных газовых лазеров.

Задачи освоения дисциплины:

1. Приобретение аспирантом широких и систематических знаний о методах создания активных сред мощных импульсных газовых лазеров, методах формирования и преобразования излучения в таких лазерах, применениях мощных лазерных импульсов.

2. Формирование навыков оценивания и расчета характеристик мощных импульсных газовых лазеров.

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- методы накачки и схемы построения различных мощных импульсных газовых лазеров
- методы повышения качества излучения в таких лазерах;
- математический аппарат, используемый при расчете мощных импульсных газовых лазеров.

## 1.3. Формируемые компетенции

Освоение настоящей дисциплины дает вклад в формирование у обучающихся следующих компетенций:

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие широких, целостных и глубоких знаний о методах создания активных сред мощных импульсных газовых лазеров, методах формирования и преобразования излучения в таких лазерах, применениях мощных лазерных импульсов (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение оценивать и рассчитывать характеристики мощных импульсных газовых лазеров (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

## 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

### 2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п/п | Раздел дисциплины   | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах) |          |                        |
|-------|---|---|----------|------------------------|
|       |   | Лекции  | Практика | Самостоятельная работа |
| 1     | Введение в дисциплину   | 4   |          | 6                      |
| 2     | Активные среды мощных импульсных газовых лазеров                            | 16  | —        | 24                     |
| 3     | Методы формирования мощных лазерных импульсов с высоким качеством излучения | 10  | —        | 12                     |
| 4     | Преобразование лазерных пучков  | 6   | —        | 10                     |
| 5     | Применения мощных импульсных газовых лазеров                                | —   | —        | 20                     |
|       | <b>ИТОГО</b>  | <b>36</b>   | <b>—</b> | <b>72</b>              |

### 2.2. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

| Порядковый номер лекции   | Раздел, тема учебного курса, содержание лекции  | Трудоемкость |             |
|---|---|--------------|-------------|
|   |   | час.         | зач. ед.    |
| <b>РАЗДЕЛ 1. Введение в дисциплину</b>                            |   | <b>4</b>     | <b>0,11</b> |
| 1   | <u>Тема 1.1. Индуцированное излучение (начало)</u><br>Свойства активной среды. Усиление и поглощение, интенсивность насыщения. Индуцированные и спонтанные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.  | 2            | 0,055       |
| 2   | <u>Тема 1.2. Индуцированное излучение (окончание)</u><br>Свойства индуцированного излучения: когерентность, монохроматичность, направленность.  | 2            | 0,055       |
| 3   | <u>Тема 1.3. Генераторы когерентного излучения в различных частях спектра</u><br>Обзор устройств, генерирующих импульсы индуцированного электромагнитного излучения в различных диапазонах длин волн, их принципов работы и применений. | 2            | 0,055       |
| <b>РАЗДЕЛ 2. Активные среды мощных импульсных газовых лазеров</b> |   | <b>16</b>    | <b>0,44</b> |
| 4   | <u>Тема 2.1. Генерация и усиление</u><br>Механизмы и особенности работы лазера в режиме генератора и усилителя.   | 2            | 0,055       |
| 5   | <u>Тема 2.2. Основные физические процессы в активной среде мощных импульсных газовых лазеров (начало)</u><br>Активные среды CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> . Энергетические уровни. Плазмохимические процессы в активных средах.      | 2            | 0,055       |

|  |  |           |             |
|--|--|-----------|-------------|
| 6  | <u>Тема 2.3. Основные физические процессы в активной среде мощных импульсных газовых лазеров (окончание)</u><br>Активные среды KrF, XeCl, HF лазеров. Энергетические уровни. Плазмохимические процессы в активных средах.  | 2         | 0,055       |
| 7  | <u>Тема 2.4. Основные физические процессы в активной среде мощных импульсных газовых лазеров (начало)</u><br>Упругие и неупругие столкновения. Ионизация, возбуждение, диссоциация молекул в плазме.   | 2         | 0,055       |
| 8  | <u>Тема 2.4. Основные физические процессы в активной среде мощных импульсных газовых лазеров (окончание)</u><br>Параметры активных сред (коэффициенты усиления и поглощения, интенсивность насыщения).   | 2         | 0,055       |
| 9  | <u>Тема 2.5. Способы создания активных сред мощных импульсных газовых лазеров (начало)</u><br>Объемный разряд в газах. Типы разрядов. Разряд в газах высокого давления. Типы предыонизации газа. Электрические схемы питания импульсного разряда.  | 2         | 0,055       |
| 10   | <u>Тема 2.5. Способы создания активных сред мощных импульсных газовых лазеров (окончание)</u><br>Возбуждение газов электронным пучком. Схемы формирования электронного пучка. Параметры электронных пучков.  | 2         | 0,055       |
| 11   | <u>Тема 2.5. Способы создания активных сред мощных импульсных газовых лазеров (окончание)</u><br>Примеры конструктивного исполнения разрядных лазеров и лазеров с накачкой электронным пучком.   | 2         | 0,055       |
| <b>РАЗДЕЛ 3. Методы формирования мощных лазерных импульсов с высоким качеством излучения</b> |  | <b>10</b> | <b>0,28</b> |
| 12   | <u>Тема 3.1. Методы формирования малой расходимости, узкой спектральной линии, поляризации излучения (начало)</u><br>Оптические схемы формирования излучения в задающем генераторе.  | 2         | 0,055       |
| 13   | <u>Тема 3.1. Методы формирования малой расходимости, узкой спектральной линии, поляризации излучения (продолжение)</u><br>Формирование излучения в неустойчивом резонаторе. Режим инжекционной синхронизации.  | 2         | 0,055       |
| 14   | <u>Тема 3.1. Методы формирования малой расходимости, узкой спектральной линии, поляризации излучения (окончание)</u><br>Усиление качественного пучка в широкоапертурных усилителях.  | 2         | 0,055       |
| 15   | <u>Тема 3.2. Особенности формирования качественного излучения в широкоапертурных лазерах</u><br>Усиленное спонтанное излучение и ее влияние на энергетические параметры лазерного излучения. Методы снижения интенсивности усиленного спонтанного излучения при формировании лазерного пучка с высоким качеством в резонаторах и в усилителях. | 2         | 0,055       |
| <b>РАЗДЕЛ 4. Преобразование лазерных пучков</b>  |  | <b>6</b>  | <b>0,17</b> |
| 16   | <u>Тема 4.1. Нелинейные методы преобразования излучения (начало)</u><br>Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Компрессия импульса излучения при использовании вынужденного рассеяния Манделъштама — Бриллюэна (ВРМБ).  | 2         | 0,055       |
| 17   | <u>Тема 4.1. Нелинейные методы преобразования излучения (продолжение)</u><br>Режим обращения волнового фронта при ВРМБ. Формирование качественного пучка в резонаторе с ВРМБ зеркалом.   | 2         | 0,055       |
| 18   | <u>Тема 4.1. Нелинейные методы преобразования излучения (окончание)</u><br>Преобразование УФ излучения в видимый спектральный диапазон в процессе ВКР. Параметры Стоксовых импульсов излучения при ВКР.  | 2         | 0,055       |
| 19   | <b>СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ</b>  | <b>36</b> | <b>1,0</b>  |

### 2.3. Практические занятия

Не предусмотрены.

### 2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе,
- конспектирование и реферирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы.

#### 2.4.1. Темы, вынесенные на самостоятельное изучение

| № недели   | Раздел учебного курса,<br>тема, вынесенная на самостоятельное изучение             | Трудоемкость |             |
|--|--|--------------|-------------|
|  |  | час.         | зач.<br>ед. |
| РАЗДЕЛ 5. Применения мощных импульсных газовых лазеров |  | 20           | 0,55        |
| 13   | Тема 5.1. Инерционный лазерный термоядерный синтез.                                | 4            | 0,11        |
| 14   | Тема 5.2. Формирование сверхкоротких мощных лазерных импульсов.                    | 4            | 0,11        |
| 15   | Тема 5.3. Получение рентгеновского излучения из лазерной плазмы.                   | 4            | 0,11        |
| 16   | Тема 5.4. Получение нанопленок и нанопорошков с помощью мощных лазерных импульсов. | 4            | 0,11        |
| 17   | Тема 5.5. Применение лазеров в медицине.   | 4            | 0,11        |
| СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ                                 |  | 20           | 0,55        |

#### 2.4.2. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у лектора.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

### 3. Учебно-методические материалы

#### 3.1. Основная литература

1. Белостоцкий Б.Р. Основы лазерной техники. – М.: Сов. радио. 1972. – 405 с.
2. Звелто О. Физика лазеров. – М., Мир, 1984, 395 с.
3. Качмарик Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981. – 540 с.
4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. – М.: Интеллект, 2009. – 736 с.
5. Справочник по лазерной технике / под ред. А. П. Напортовича. – М.: Энергоатомиздат, 1991, – 543 с.
6. Справочник по лазерной технике / под ред. Ю. В. Байбородина, Л. З. Криксунова, О.Н. Литвиненко. – Киев: изд. Техніка, 1978, 288 с.
7. Технологические лазеры. Справочник / под ред. Г. А. Абильситова. - М.: Машиностроение. 1991. т. 1. т.2.
8. Экимерные лазеры: Пер с англ. / Под ред. Ч. Роудза. – М.: Мир, 1981. – 245 с.
9. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения: Учебное пособие / П.Г. Крюков – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2012. -248 с.
10. П.Г. Крюков. Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 208 с.

### 3.2. Дополнительная литература

1. Mesyats G.A., Osipov V.V., Tarasenko V.F. Pulsed gas lasers. – SPIE, Opt. Eng. Press: Bellingham, Washington, USA, 1995. – 374 p.
2. Аллен Л., Джонс Д. Основы физики газовых лазеров. М.: Наука, 1970.
3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 300 с.
4. Евтушенко Г.С., Аристов А.А. Лазерные системы в медицине. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998.
5. Журнал "Laser Market". 1992, в. 1—12; 1993, в. 1—12.
6. Журнал "Лазерная техника и оптоэлектроника", выпуски 1991—1993 гг.
7. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. –М., Наука, 1988, 336.
8. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник / под ред. Н. Н. Рыкалина. –М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
9. Мейтленд А., Данн М.. Введение в физику лазеров, Наука, М., 1978.
10. Месяц Г. А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004.
11. Пахомов И.И., Цибуля А.Б. Расчет оптических систем лазерных приборов. – М.: Радио и связь. 1986. – 151 с.
12. Тарасов А.В. Лазеры. Надежды и действительность. М.: Наука, 1985.- 175 с.
13. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. - М., Радио и связь, 1981, 440 стр.
14. Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применения. – М.: Наука, 1987, 195 с.
15. Шиа Д.О., Коллен Р., Родс У. Лазерная техника. – М.: Атомиздат, 1980. – 255 с.
16. Ярив А. Квантовая электроника. –М., Сов. Радио, 1980, 488 с.

### 4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН.

### 5. Оценка качества освоения материала

Текущий контроль качества усвоения теоретического материала включает оценку ответов на вопросы в ходе лекций и две контрольные работы (в середине и в конце семестра).

Зачет по дисциплине ставится в соответствии с посещением лекций, качества работы на лекциях и самостоятельной работы, успешности выполнения контрольных работ.

#### 5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием бальной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

| Оценочное мероприятие                                  | Максимальное число баллов |
|--|---------------------------|
| Промежуточные тесты (по разделам дисциплины), суммарно | 15                        |
| Итоговый тест  | 15                        |
| Подготовка реферата (самостоятельная работа)           | 10                        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Дифференцированный зачет           | 60         |
| <b>Максимальный суммарный балл</b> | <b>100</b> |

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

- «Отлично»: 48—60 баллов.
- «Хорошо»: 35—47 баллов.
- «Удовлетворительно»: 13—34 балла.
- «Неудовлетворительно»: 12 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:

- «Отлично»: 81—100 баллов.
- «Хорошо»: 61—80 баллов.
- «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

### 5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

| Компонента ФОС,<br>оценочное<br>мероприятие  | Компетенции |      |      |      |      |      |
|--|-------------|------|------|------|------|------|
|  | ОПК-1       | ПК-1 | ПК-2 | УК-1 | УК-2 | УК-3 |
| Промежуточные тесты (по разделам дисциплины) | +           | +    | +    |      |      |      |
| Итоговый тест                                | +           | +    | +    |      |      |      |
| Подготовка реферата (самостоятельная работа) | +           | +    | +    | +    | +    |      |
| Дифференцированный зачет                     | +           | +    | +    | +    |      | +    |

### 5.3. Вопросы для самопроверки по курсу

1. Свойства активной среды (усиление и поглощение, интенсивность насыщения).
3. Свойства индуцированного излучения (когерентность, монохроматичность, направленность).
5. Плазмохимические процессы в активной среды. Упругие и неупругие столкновения. Ионизация, возбуждение, диссоциация молекул в плазме.
6. Механизм и принцип работы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{KrF}$ ,  $\text{XeCl}$  лазеров.
7. Создание активной среды, объемный разряд в газах высокого давления. Типы предыонизации газа.
8. Электрические схемы возбуждения газовых лазеров.
9. Возбуждение газов электронным пучком, особенности, схемы формирования пучка, его параметры.
10. Примеры конструктивного исполнения мощных лазеров с накачкой электрическим разрядом и электронным пучком.
11. Методы формирования малой расходимости, узкой спектральной линии, поляризации излучения.
12. Оптические схемы формирования излучения в задающем генераторе.

13. Формирование излучения в неустойчивом резонаторе, типы резонаторов.
14. Режим инжекционной синхронизации.
15. Усиление качественного пучка в широкоапертурных усилителях, влияние УСИ на параметры усиленного излучения.
16. Методы снижения интенсивности УСИ при формировании лазерного пучка с высоким качеством в резонаторах и усилителях.
17. Нелинейные методы преобразования излучения (ВРМБ и ВКР), физические принципы и механизмы.
18. Компрессия импульса излучения при ВРМБ.
19. Режим обращения волнового фронта (ОВФ) при ВРМБ.
20. Формирование качественного пучка в резонаторе с ВРМБ зеркалом.
21. Преобразование УФ излучения в видимый спектральный диапазон в процессе ВКР.
22. Параметры Стоксовых импульсов излучения при ВКР, расходимость, ширина линии.
23. Области применения мощных газовых лазеров.

Рабочая программа составлена на основании:

федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспорта специальности научных работников 01.04.05 — оптика;

- программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.05, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы  
главный научный сотрудник,  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В. Ф. Лосев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.  
Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ И. В. Пегель



**Дополнения и изменения в рабочей программе**  
за \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Мощные импульсные газовые лазеры» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес \_\_\_\_\_  
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.  
Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.