

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1146957	Физическая электроника

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Электроника и наноэлектроника	Код ОП 1. 11.03.04/33.01
Направление подготовки 1. Электроника и наноэлектроника	Код направления и уровня подготовки 1. 11.03.04

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Чолах Сеиф Османович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	электрофизики

Согласовано:

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Физическая электроника

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуле изучается физики взаимодействия заряженных частиц с поверхностью твердого тела. Рассматриваются основные закономерности эмиссионной электроники, вторичные явления, приводящие к эмиссии ионов и нейтральных частиц. Показывается, каким образом установленные закономерности используются в физике твердого тела и в современных технологиях. Рассматриваются современные представления об энергетических состояниях и методах заселения квантовых систем, генерации, усиления и использования мощных потоков излучения оптического диапазона, методик их регистрации и управления характеристиками таких потоков.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Физика плазмы	4
2	Квантовая и оптическая электроника	5
ИТОГО по модулю:		9

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	<ol style="list-style-type: none">1. Дополнительные главы теоретической физики2. Основы электрофизики
Постреквизиты и кореквизиты модуля	<ol style="list-style-type: none">1. Физика и технология материалов и компонентов электроники больших мощностей2. Мощная импульсная техника

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3

<p>Квантовая и оптическая электроника</p>	<p>ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне</p>	<p>З-1 - Объяснять фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики и атомной физики</p> <p>З-2 - Различать основы физики плазмы, процессы переноса в плазме, поведения плазмы в магнитном поле, взаимодействия плазмы с твердым телом, современных плазменных технологий</p> <p>З-3 - Описывать современные представления об энергетических состояниях и методах заселения квантовых систем, генерации, усиления и использования мощных потоков излучения оптического диапазона, методик их регистрации и управления характеристиками таких потоков</p> <p>У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач</p> <p>У-2 - Рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам, делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме, объяснить влияние магнитных полей простой конфигурации на поведение плазмы</p> <p>У-3 - Самостоятельно рассчитывать параметры лазерных излучателей</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт применения законов физики</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования полученных знаний при работе с современными электрофизическими установками и ускорителями, в энергетике, электронике</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт работы с современными квантовыми оптическими генераторами</p>
	<p>ПК-13 - Способность к профессиональной эксплуатации, техническому обслуживанию и</p>	<p>З-1 - Различать основные принципы генерирования электрических импульсов большой мощности</p>

	<p>ремонту приборов, электронных средств и электронных систем</p>	<p>З-2 - Описывать устройство генераторов большой мощности</p> <p>З-3 - Различать способы генерирования, сжатия и трансформирования наносекундных импульсов с использованием линий с распределенными параметрами и активных сред</p> <p>З-4 - Описывать основные методы электрофизической обработки материалов; явления, происходящие в процессе обработки материалов корпускулярными и электромагнитными излучениями</p> <p>У-1 - Выбирать с учетом практических целей тип устройства и его составных частей для генерирования импульсов с определенными заданными параметрами</p> <p>У-2 - Выбирать необходимый электрофизический способ обработки конкретного материала</p> <p>У-3 - Выбирать рабочие параметры установки; применять на практике ионные, электронные и лазерные технологии при обработке материалов</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт работы с современными генераторами большой электрической мощности</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования ионной, электронной и лазерной технологий</p>
<p>Физика плазмы</p>	<p>ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне</p>	<p>З-1 - Объяснять фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики и атомной физики</p> <p>З-2 - Различать основы физики плазмы, процессы переноса в плазме, поведения плазмы в магнитном поле, взаимодействия плазмы с твердым телом, современных плазменных технологий</p> <p>З-3 - Описывать современные представления об энергетических состояниях и методах заселения квантовых систем, генерации, усиления и использования мощных потоков излучения</p>

		<p>оптического диапазона, методик их регистрации и управления характеристиками таких потоков</p> <p>У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач</p> <p>У-2 - Рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам, делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме, объяснить влияние магнитных полей простой конфигурации на поведение плазмы</p> <p>У-3 - Самостоятельно рассчитывать параметры лазерных излучателей</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт применения законов физики</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования полученных знаний при работе с современными электрофизическими установками и ускорителями, в энергетике, электронике</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт работы с современными квантовыми оптическими генераторами</p>
	<p>ПК-13 - Способность к профессиональной эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту приборов, электронных средств и электронных систем</p>	<p>З-1 - Различать основные принципы генерирования электрических импульсов большой мощности</p> <p>З-2 - Описывать устройство генераторов большой мощности</p> <p>З-3 - Различать способы генерирования, сжатия и трансформирования наносекундных импульсов с использованием линий с распределенными параметрами и активных сред</p> <p>З-4 - Описывать основные методы электрофизической обработки материалов; явления, происходящие в процессе обработки материалов корпускулярными и электромагнитными излучениями</p> <p>У-1 - Выбирать с учетом практических целей тип устройства и его составных</p>

		<p>частей для генерирования импульсов с определенными заданными параметрами</p> <p>У-2 - Выбирать необходимый электрофизический способ обработки конкретного материала</p> <p>У-3 - Выбирать рабочие параметры установки; применять на практике ионные, электронные и лазерные технологии при обработке материалов</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт работы с современными генераторами большой электрической мощности</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования ионной, электронной и лазерной технологий</p>
--	--	--

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика плазмы

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Шмелев Дмитрий Леонидович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	электрофизики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический

Протокол № 9 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Шмелев Дмитрий Леонидович, Доцент, электрофизики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Характеристика предмета, объем и содержание. Формы аудиторной работы. Формы контроля знаний. Описание учебной литературы.
P2	Основные понятия и определения	Основные характеристики, необходимые для количественного описания плазмы. Системы частиц с кулоновским взаимодействием. Квазинейтральность. Дебаевское экранирование. Идеальность. Невыржденность. Столкновения частиц в плазме.
P3	Методы описания плазмы	«Уравнения движения», описывающие плазму. Уравнения поля. Самосогласованный характер описания. Уравнения Лиувилля. Кинетические уравнения. Уравнения гидродинамики.
P4	Равновесная плазма	Понятие равновесия в плазме. Распределение Максвелла-Больцмана. Н-теорема Больцмана. Ионизационное равновесие.
P5	Плазма как система независимых частиц	Дрейфовый характер движения заряженных частиц в магнитном поле. Условия применимости дрейфового рассмотрения. Виды дрейфа.
P6	Бесстолкновительная плазма в самосогласованном поле	Самосогласованный характер движения заряженных частиц плазмы в электромагнитном поле. Уравнения Власова. Задачи о слое.

P7	Плазма в электрическом поле	Движение заряженных частиц плазмы в электрическом поле. Баланс энергий. Разогрев электронов. Распределение Дрювестейна. Ионы плазмы в электрическом поле.
P8	Интеграл столкновений	Формы записи интеграла столкновений. Интеграл столкновений Батнагара-Гросса-Крука. Описание неупругих процессов.
P9	Многожидкостная гидродинамика плазмы	Уравнения непрерывности. Уравнения движения. Уравнения баланса внутренней энергии. Теплопроводность. Термосила.
P10	Процессы переноса при отсутствии магнитного поля	Электропроводность. Диффузия. Термодиффузия. Амбиполярная диффузия. «Убегающие» электроны.
P11	Процессы переноса в магнитном поле	Тензорный характер процессов переноса. Электропроводность. Диффузия. Термодиффузия. Амбиполярная диффузия.
P12	Одножидкостная магнитная гидродинамика	Уравнения одножидкостной магнитной гидродинамики. Обобщенный закон Ома. Изотропные МГД-теории. Физические явления, описываемые одножидкостной магнитной гидродинамикой.
P13	Колебания и волны в плазме	Волны в плазме. Колебания. Неустойчивости. Солитоны.
P14	Заключение	Нерешенные проблемы физики плазмы применительно к задачам электрофизики. Перспективы решения. Возможные пути создания новых технологий.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной профессиональной деятельности	ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на	З-2 - Различать основы физики плазмы, процессы переноса в плазме, поведения плазмы в магнитном поле, взаимодействия плазмы с твердым телом, современных плазменных технологий У-2 - Рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам,

			мировом уровне	делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме, объяснить влияние магнитных полей простой конфигурации на поведение плазмы
--	--	--	----------------	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика плазмы

Электронные ресурсы (издания)

1. Франк-Каменецкий, Д. А.; Лекции по физике плазмы; Атомиздат, Москва; 1968; <https://biblioclub.ru/index.phppage=book&id=492313> (Электронное издание)
2. Голант, В. Е.; Основы физики плазмы; Атомиздат, Москва; 1977; <https://biblioclub.ru/index.phppage=book&id=492319> (Электронное издание)
3. Бобылёв, Ю. В.; Нелинейные явления при электромагнитных взаимодействиях электронных пучков с плазмой : монография.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.phppage=book&id=68965> (Электронное издание)
4. , Литвинов, Е. А., Никулин, С. П.; Эмиссия заряженных частиц из тлеющих разрядов с осциллирующими электронами : Метод. указания для самостоят. работы студентов днев. формы обучения специальностей физико-техн. фак. по дисциплинам "Физика электрон. и ион. процессов".; ГОУ УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2002; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1279> (Электронное издание)
5. , Кузнецов, Д. Л., Никулин, С. П., Новоселов, Ю. Н.; Электрофизические методы в экологии : Метод. указания для самостоят. работы студентов днев. формы обучения специальностей физико-техн. фак. по дисциплине "Физика низкотемператур. плазмы" и "Электрофизич. методы обраб. материалов".; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2002; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1280> (Электронное издание)
6. , Литвинов, Е. А., Никулин, С. П.; Тлеющие разряды с осциллирующими электронами : Метод. указания к лекц. курсу "Физика электр. разрядов в вакууме и газе" для студентов днев. формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2001; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1155> (Электронное издание)
7. , Литвинов, Е. А., Никулин, С. П., Чолах, С. О.; Формирование электронных пучков в диодах с термоэмиссионным и плазменным катодами : Метод. указания к лаб. работам для студентов дневной формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2001; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1145> (Электронное издание)
8. , Литвинов, Е. А., Никулин, С. П.; Эмиссия заряженных частиц из тлеющих разрядов с осциллирующими электронами : Метод. указания для самостоят. работы студентов днев. формы обучения специальностей физико-техн. фак. по дисциплинам "Физика электрон. и ион. процессов".; ГОУ УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2002; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1279> (Электронное издание)

издание)

9. , Никулин, С. П., Чолах, С. О., Литвинов, Е. А.; Время задержки искрового разряда в вакууме : метод. указания к лаб. работам для студентов днев. формы обучения специальностей физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1528> (Электронное издание)

10. Литвинов, Е. А., Чолах, С. А., Вершинин, Ю. Н.; Электрофизика : учебник : [в 9 ч.]. Ч. 1. Физика плазмы; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1605> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Райзер, Ю. П.; Физика газового разряда; Интеллект, Долгопрудный; 2009 (16 экз.)
2. Месяц, Г. А., Пегель, И. В.; Введение в наносекундную импульсную энергетику и электронику : курс лекций для физиков и инженеров.; ФИАН, Москва; 2009 (23 экз.)
3. Никулин, С. П., Чолах, С. О., Яландин, М. И.; Электронные и ионные процессы в газоразрядных системах низкого давления : учебник для студентов специальности 210101 - Физическая электроника направления . 654100 - Электроника и микроэлектроника.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2008 (21 экз.)
4. Александров, А. Ф., Кузелев, М. В.; Радиофизика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 010800.62 - Радиофизика по специальностям 010701.65 - Физика и 010802.65 - Фундам. радиофизика и физ. электроника.; КДУ, Москва; 2007 (2 экз.)
5. Франк-Каменецкий, Д. А.; Лекции по физике плазмы : [учеб. пособие].; Интеллект, Долгопрудный; 2008 (10 экз.)
6. Биттенкорт, Жозе А., Ж. А., Зеленый, Л. М., Садовский, А. М.; Основы физики плазмы; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (1 экз.)
7. Бобылев, Ю. В., Кузелев, М. В.; Нелинейные явления при электромагнитных взаимодействиях электронных пучков с плазмой; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (2 экз.)
8. Райзер, Ю. П.; Высокочастотный емкостный разряд: Физики. Техника эксперимента. Приложения : Учеб. пособие.; Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та: Наука. Физ.-мат. лит., Москва; 1995 (1 экз.)
9. Базелян, Э. М.; Искровой разряд : Учеб. пособие для студентов вузов.; Изд-во МФТИ, Москва; 1997 (3 экз.)
10. Базелян, Э. М., Райзер, Ю. П.; Физика молнии и молниезащиты; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2001 (1 экз.)
11. Велихов, Е. П.; Физические явления в газоразрядной плазме; Наука, Москва; 1987 (1 экз.)
12. Литвинов, Е. А., Чолах, С. А., Вершинин, Ю. Н.; Электрофизика : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210101 - Физ. электроника направления подгот. дипломир. специалистов 654100 "Электроника и микроэлектроника". Ч. 1. Физика плазмы; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2006 (20 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).
2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).
3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).

6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).
13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
2. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
3. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
4. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика плазмы

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения

1	Лекции	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
2	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Наносекундный генератор РАДАН-303. 2. Мегавольтный полупроводниковый генератор С-5Н. 3. Вакуумный стенд для исследования тяговых характеристик ИЭДРД. 4. Ускоритель УРТ-0,5. 5. Генератор импульсных напряжений Аркадьева-Маркса с выходным напряжением до 120 кВ. 	<p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
3	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<p>Не требуется</p>

		Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Квантовая и оптическая электроника

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Соломонов Владимир Иванович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	электрофизики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический

Протокол № 9 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Соломонов Владимир Иванович, Профессор, электрофизики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи, объем, содержание и порядок изучения материала, связь с другими дисциплинами учебного плана. Формы контроля самостоятельной работы. Характеристика учебной литературы.
P2	Создание инверсной населенности	Краткая история квантовой и оптической электроники. Энергетические состояния квантовых систем, характеристики электромагнитного излучения оптического диапазона. Закон Больцмана. Связь между коэффициентами Эйнштейна. Поглощение и усиление слабого сигнала. Двух-, трех- и четырех- уровневые схемы создания инверсной среды.
P3	Ширина и форма спектральной линии	Соотношение неопределенностей энергия-время. Естественная ширина спектральной линии. Классический осциллятор, диполь-осциллятор, дипольное приближение. Дипольное излучение. Форма спектральной линии. Доплеровское уширение спектральной линии. Гауссова форма линии при неоднородном уширении. Уширение линии вследствие столкновений. Спектральные коэффициенты Эйнштейна, спектральный коэффициент усиления инверсной среды.
P4	Усиление и генерация оптического излучения	Насыщение усиления в активных средах. Усиление излучения с учетом насыщения при отсутствии потерь и с учетом малых потерь в активной среде. Импульсный режим, энергия насыщения. Добротность резонатора. Потери энергии в средах с различными агрегатными состояниями и на зеркалах

		резонатора. Самовозбуждение лазера. Связь между выходной мощностью и конструктивными элементами лазера.
P5	Оптические резонаторы	Основные понятия. Лазер-активный интерферометр Фабри-Перо. Свойства интерферометра Фабри-Перо. Плоский резонатор. Дифракционные потери в плоском резонаторе. Трансверсальные электромагнитные колебания. Резонатор с произвольными сферическими зеркалами. Устойчивость резонатора. Сферический, концентрический, полусферический и полуконфокальный резонаторы. Другие типы резонаторов. Неустойчивые резонаторы.
P6	Управление характеристиками, регистрация, трансформация и обработка оптического излучения	Селекция линий излучения лазера. Внутррезонаторные элементы. Лэмбовский провал и стабилизация частоты, оптический эталон времени. Модуляция добротности. Кристаллооптика. Электрооптические, акустические затворы. Активная и пассивная модуляция добротности. Синхронизация мод. Активная и пассивная синхронизация мод: контроль, передача. Трансформация и обработка оптического излучения.
P7	Методы накачки лазеров и квантовых усилителей	Классификация методов. Классический тлеющий, самостоятельный и несамостоятельный объемные разряды как методы накачки газовых лазеров. Некогерентные источники света. Оптическая накачка: потоком излучения газоразрядных ламп, катодолуминесцентным излучением, полупроводниковым излучением. Химическая накачка. Тепловая накачка. Накачка внешним ионизирующим излучением: потоком электронов, осколками ядерных реакций, излучением открытого разряда. Ядерная накачка.
P8	Лазеры на атомных и ионных переходах	Особенности газовых лазеров. Механизм генерации и характеристики гелий-неонового лазера. Конструкции гелий-неонового лазера. Лазеры на ионах благородных газов. Аргоновый лазер: механизм генерации, характеристики и конструкции. Лазеры на ионах паров металлов. Гелий-кадмиевый лазер: механизм генерации, характеристики и конструкции. Лазеры на самоограниченных переходах. Медный лазер: механизм генерации, характеристики и конструкции.
P9	Молекулярные лазеры	Особенности молекулярных лазеров. Принципы Гулда. Строение молекулы CO ₂ , схемы колебательно-вращательных уровней. Механизм генерации в CO ₂ -лазерах. Лазеры низкого давления с продольной накачкой. Электроионизационные лазеры, лазеры с плавной перестройкой частоты излучения. Электроразрядные лазеры среднего и высокого давления. Эксимерные лазеры. Лазеры на Xe ₂ , KrF, XeF, ArF, XeCl. Кинетика процессов создания инверсии. Методы накачки, характеристики и конструкции эксимерных лазеров.
P10	Твердотельные лазеры	Оптические явления в твердых телах. Метод вспомогательного излучения. Трех и четырехуровневые схемы. Безизлучательная релаксация в твердом теле. Электронные конфигурации атомов и ионов переходных групп. Внутрикристаллическое поле. Уровни ионов хрома в корунде. Рубиновый лазер и его режимы работы. Конструкции рубинового лазера. Уровни энергии

		неодима. Неодимовый лазер. Нелинейные процессы в твердых телах. Лазерное стекло. Оптическая однородность, лучевая стойкость.
P11	Полупроводниковые лазеры, передача оптического излучения	Зонная структура полупроводников. Донорные и акцепторные примесные атомы в полупроводниках. Распределение концентраций носителей зарядов и потенциалы в р-п - переходе. р-п-переход с приложением внешнего поля. Вырожденный полупроводник с р-п -переходом. Условия получения вынужденного излучения. Полупроводниковый лазер с электронной накачкой, их конструкции и характеристики. Инжекционные лазеры (гомолазеры). Гетеролазеры. Квантоворазмерные структуры. Стриммерные лазеры. Лазеры на эффекте Ганна. Характеристики и конструкции полупроводниковых лазеров. Передача излучения с помощью световодов. Согласование световодов с полупроводниковыми лазерами. Свойства лазерного излучения.
P12	Заключение	Использование квантовой и оптической электроники в других областях знаний.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	ПК-13 - Способность к профессиональной эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту приборов, электронных средств и электронных систем	З-3 - Различать способы генерирования, сжатия и трансформирования наносекундных импульсов с использованием линий с распределенными параметрами и активных сред П-2 - Иметь практический опыт использования ионной, электронной и лазерной технологий

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая и оптическая электроника

Электронные ресурсы (издания)

1. Шангина, Л. И.; Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие.; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск; 2012; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208584> (Электронное издание)
2. Цернике, Ф., Ф., Ахманов, С. А.; Прикладная нелинейная оптика; Мир, Москва; 1976; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477406> (Электронное издание)
3. , Литвинов, Е. А., Осипов, В. В., Соломонов, В. И., Чолах, С. О.; Свойства лазерного излучения : Метод. указания к лаб. практикуму для студентов дневной формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2001; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1147> (Электронное издание)
4. , Литвинов, Е. А., Осипов, В. В., Чолах, С. О.; Электроразрядный импульсно-периодический СО₂-лазер с высоким давлением активной среды : Метод. указания к лаб. практикуму для студентов днев. формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2001; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1150> (Электронное издание)
5. , Каширин, В. И., Новоселов, Ю. Н., Орлов, А. Н., Соломонов, В. И., Чолах, С. О.; Моделирование светового поля в дальней зоне лазерного излучения, дифрагировавшего на входной диафрагме объектива : Метод. указания к лаб. работе для студентов дневной формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2002; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1204> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Звелто, Звелто О., Козлов, Д. Н., Созинов, С. Б., Адамович, К. Г., Шмаонов, Т. А.; Принципы лазеров : [монография].; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2008 (5 экз.)
2. , Пролейко, В. М.; Базовые лекции по электронике : сб. [лекций] : в 2 т. Т. 1. Электрорадиодинамическая, плазменная и квантовая электроника; Техносфера, Москва; 2009 (5 экз.)
3. Киселев, Г. Л.; Квантовая и оптическая электроника : учеб. пособие [для студентов, обучающихся по направлению "Электроника и микроэлектроника"].; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2011 (7 экз.)
4. Пихтин, А. Н.; Квантовая и оптическая электроника : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. "Электроника и микроэлектроника" и "Нанотехнологии и микросист. техника".; Абрис : Высшая школа, Москва; 2012 (5 экз.)
5. Месяц, Г. А.; Импульсные газовые лазеры; Наука, Москва; 1991 (2 экз.)
6. Дмитриев, В. Г., Тарасов, Л. В.; Прикладная нелинейная оптика; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2004 (2 экз.)
7. Дудкин, В. И.; Квантовая электроника. Приборы и их применение : учеб. пособие для вузов.; Техносфера, Москва; 2006 (3 экз.)
8. Фабрикант, В. А., Глазунов, А. Т., Векленко, Б. А., Гамсахурдия, Е. В., Орлов, В. А.; Физика, оптика, квантовая электроника : Избр. ст.; Изд-во МЭИ, Москва; 2000 (1 экз.)
9. Соломонов, В. И., Михайлов, С. Г.; Импульсная катодолюминесценция и ее применение для анализа конденсированных веществ; УРО РАН, Екатеринбург; 2003 (2 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).

2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).
3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).
6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).
13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
2. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
3. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
4. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая и оптическая электроника

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет 1. Импульсный катодолюминесцентный спектрограф «КЛАВИ» 2. Импульсно-периодические ТЕА СО2 лазеры серии «ИГЛА». 3. Технологический ТЕ СО2 лазер «ЛАЭРТ». 4. Импульсно-периодический СО2 лазер «НЭИЛ-20». 5. Импульсно-периодический ХеС1 лазер «ЭРЛ».	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		<p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	Не требуется