

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Саровский физико-технический институт -**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**КАФЕДРА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»**

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, член корр.РАН, д.ф.м.н.

\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>3.04.01 «Прикладные математика и физика»</u>
Наименование образовательной программы	<u>электрофизика</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_ Заведующий кафедрой «ЭФ»,  
д.ф.м.н., доцент  
протокол № 2 от 04.02.2022г. \_\_\_\_\_ Ю.Б. Кудасов  
04.02.2022г. 2022г.

г. Саров, 2022г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.  
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.  
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.  
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.  
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КП	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
3	32	2	72	16	16	-	40	0	Зачет
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>Зачет</b>

## **АННОТАЦИЯ**

В курсе «Физика электроразрядных лазеров» дается современное представление о процессах переходов в атомах и молекулах и особенностях лазерного излучения. Далее на основе термодинамических представлений вводится понятие инверсии и необходимых условиях усиления. Излагаются основные методы создания инверсии в активных лазерных средах и основы теории оптических резонаторов. Значительное внимание уделяется вопросам динамики процессов в лазере, а также вопросам разработки лабораторных лазеров. Дается представление об основных методах измерения параметров лазерного излучения, рассматриваются применения лазеров в различных областях физики, тенденции развития лазеров

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель курса – дать необходимый объем сведений по физике мощных импульсных электроразрядных лазеров, а именно: представление о процессах переходов в атомах и молекулах, о методы создания активных лазерных сред, основы теории оптических резонаторов, свойствах лазерного излучения, методах измерения параметров лазерного излучения, применения лазеров и тенденциях их развития. Этот курс послужит теоретическим основанием для дальнейших экспериментальных курсов и лабораторных работ, связанных с лазерами. Полученные при изучении данного курса знания будут востребованы в дальнейшей практической работе и при изучении специальных разделов физики.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Дисциплина «Физика электроразрядных лазеров», входит в первый блок: «Дисциплины» часть, формируемая участниками образовательных отношений, учебного плана по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» по программе «Электрофизика».

Опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-технических специальностей: : высшая математика (математический анализ, линейная алгебра, теория функций комплексных переменных), общая физика (термодинамика, молекулярной физика, электричество и магнетизм), теория поля, квантовая механика, электродинамика.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

#### Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<b>Тип задачи профессиональной деятельности: проектный</b>			
<p>организация выполнения проектов исследовательской и инновационной направленности в качестве исполнителя, ответственного за выполнение отдельного направления работ</p>	<p>мощные электрофизические установки: мощные источники электрических импульсов, крупномасштабные лабораторные электрофизические установки высоковольтные и сильноточные системы, ускорители заряженных частиц, мощные ВЧ- и СВЧ-генераторы, взрывомагнитные источники энергии, диагностические комплексы, и вспомогательное оборудование.</p>	<p>ПК-14.1 способен к обеспечению безопасности при проведении работ на ядерно-физических и электрофизических установках, с делящимися материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами</p>	<p>З-ПК-14.1 знать федеральные нормы и правила, отраслевые нормативные документы электробезопасности и охраны труда при эксплуатации исследовательских электрофизических установок – источников излучения, высоковольтного и измерительного оборудования; технические характеристики установок и оборудования; технологические регламенты безопасной эксплуатации установок и оборудования У-ПК-14.1 уметь анализировать научно-техническую информацию по теме исследований, в том числе для организации контроля за техническим состоянием установок и оборудования; средств измерений, контроля, управления и автоматики, обеспечивающих безопасную эксплуатацию установок и стендов В-ПК-14.1 владеть навыками разработки планов перспективных исследований по инновационным электрофизическим технологиям и мероприятий по обеспечению электробезопасности планируемых работ</p>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ\*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы						
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)	
			16	16	-	40			
<b>Семестр № 3</b>									
1.	<b>РАЗДЕЛ 1</b>	<b>1-16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>40</b>			
1.1.	Инверсия активной среды	1	2	2	-	4	УО	3	
1.2.	Спектральные линии и усиление света.	2-3	2	2	-	4	УО	3	
1.3	Резонаторы и генерация.	4	2	2		4	УО	3	
1.4	Динамика процессов в лазере.	5-6	2	2		4	УО	3	
1.5	Основные типы лазеров.	7-8	2	2	-	4	УО	3	
1.6	Накачка лазеров с помощью газового разряда.	9-10	1	1	-	5	УО	3	
1.7	Генерация CO <sub>2</sub> -лазера.	11-12	2	2	-	5	УО	3	
1.8	Химические и эксимерные электроразрядные лазеры.	13	1	1	-	4	УО	3	
1.9	Измерение параметров лазерного излучения. Основные применения лазеров.	14	1	1		4	УО	3	
<b>Рубежный контроль</b>		<b>15</b>						<b>ДЗ</b>	<b>5</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>			<b>Зачет-16</b>				<b>зач</b>	<b>0-50</b>	
<b>Посещаемость</b>									<b>5</b>
<b>Итого:</b>			<b>16</b>	<b>16</b>		<b>40</b>	<b>зач</b>	<b>100</b>	

\*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

ДЗ – домашнее задание

З-зачет

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

##### Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	<b>РАЗДЕЛ 1</b>	
1	1 Тема.	Современное представление о процессах переходов в атомах и молекулах Индукционные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна

	Инверсия активной среды	Инверсия активной среды как необходимое условие работы лазера Принципы создания инверсии. Основные способы накачки. Механизмы заселения верхнего и очистки нижнего уровней. Описание работы лазера в рамках двух-, трех-, и четырехуровневой модели.
2	2 Тема. Спектральные линии и усиление света.	Понятие о ширине линии. Естественная ширина линии. Форм-фактор спектральной линии. Уширение спектральных линий - однородное и неоднородное. Поглощение и усиление в активной среде. Зависимость от ширины спектральной линии. Коэффициент усиления и его связь с мощностью источника накачки.
3	3 Тема. Резонаторы генерация.	Открытые резонаторы. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Критерии устойчивости резонаторов. Продольные и поперечные моды. Спектр генерации. Когерентность и направленность индуцированного излучения Принципы частотной селекции. Конкуренция мод. Форма импульса генерации.
4	4 Тема. Динамика процессов в лазере.	Уравнения процесса развития генерации. Формирование поля излучения в лазерном резонаторе. Режим свободной генерации. Переходные процессы при развитии генерации. Анализ картины пульсаций на основе балансных уравнений. Инжекция лазерного излучения.
5	5 Тема. Основные типы лазеров.	Классификация лазеров по типу сред и способам накачки. Основные методы накачки. Особенности конструкций и эксплуатации мощных лазеров.
6	6.Тема. Накачка лазеров помощью газового разряда.	Требования к разряду и системе накачки. Лазеры на атомарных переходах ( <i>He-Ne</i> лазер). Лазеры на молекулярных переходах ( <i>N<sub>2</sub></i> , <i>CO</i> , <i>CO<sub>2</sub></i> ). Квантовый технический КПД. Основные процессы, определяющие технический КПД лазера.
7	7 Тема. Генерация CO <sub>2</sub> -лазера.	Схема уровней и основные переходы. Назначение основных компонентов активной среды. Система уравнений описывающих динамику генерации CO <sub>2</sub> -лазера. Конструкция и основные параметры мощных CO <sub>2</sub> -лазеров ВНИИЭФ.
8	8 Тема. Химические эксимерные электроразрядные лазеры.	Химические лазеры с электроразрядным инициированием ( <i>HF</i> – лазер) Понятие химической цепи. Схема уровней и основные переходы Эксимеры. Лазеры на галогенидах инертных газах ( <i>XeCl</i> – лазер) Конструкция и основные параметры эксимерных лазеров ВНИИЭФ.
9	9 Тема. Измерение параметров лазерного излучения. Основные применения лазеров.	Форма и спектр импульсов излучения электроразрядных лазеров Зависимость формы и спектра излучения от параметров источника накачки и резонатора. Методы регистрации формы импульса и спектра генерации Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Ускорение электронов лазерным излучением. Применение лазеров в активной диагностике.

### Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	1 Тема. Переходы в атомах и молекулах. Инверсия.	Основные свойства лазерного излучения – сравнение с тепловыми источниками. Оценки времени жизни состояний. Вычисление коэффициентов Эйнштейна через привлечение распределения спектра излучения абсолютно черного тела и гипотезы о спонтанных и индуцированных переходах. Физический смысл коэффициентов Эйнштейна. Рассмотрение процессов заселения и очистки энергетических уровней (варианты 3-х и 4-х уровневых систем). Оценка времени

		заселения и очистки состояний.
2.	2 Тема. Принцип усиления в лазерных средах.	Оценки ширины спектральных линий при различных условиях. Оценки времени релаксации. Вычисление температуры в инверсно заселенной среде. Построение динамики изменения температуры при релаксации к состоянию теплового равновесия. Оценки ожидаемых значений предельных коэффициентов усиления.
3	3 Тема. Резонаторы и генерация.	Оценка геометрических параметров устойчивых и неустойчивых резонаторов. Оценка числа продольных и поперечных мод. Оценка ширины спектра генерации и расходимости. Оценка длины когерентности лазерного излучения. Определение параметров оптической схемы для измерения формы импульса и спектра генерации.
4	4 Тема. Динамика процессов в лазере.	Решение уравнений динамики при постоянной и мгновенной накачке. Оценка времени формирования поля излучения в резонаторе. Анализ картины пульсаций импульса генерации мощного СО <sub>2</sub> -лазера ВНИИЭФ.
5	5 Тема. Параметры лазеров.	Оценка предельных параметров лазеров с различными средами и источниками накачки. Определение требований к элементам конструкций мощных лазеров.
6	6 Тема. Накачка газовым разрядом.	Определение основных требований к разряду и системе накачки. Оценки параметров среды, конструкции и источника тока He-Ne и N <sub>2</sub> лазеров. Оценка квантового и технического КПД.
7	7 Тема. Электроразрядный СО <sub>2</sub> -лазера.	Оценки соотношения компонент среды ТЕА СО <sub>2</sub> -лазера. Решение системы уравнений динамики генерации СО <sub>2</sub> -лазера на начальной стадии формирования поля излучения.
8	8 Тема. Химические и эксимерные лазеры.	Оценки параметров источников для цепных и нецепных HF – лазеров. Оценки параметров источников и конструкции для ХеСl – лазера.
9	9 Тема. Измерение параметров лазерного излучения.	Оценки напряженности электрического поля в потоке лазерного излучения. Определение предельной интенсивности на поверхности регистратора. Оценки параметров оптической схемы для регистрации формы и спектра излучения мощных импульсных лазеров. Оценки энергии электронов ускоренных лазерным излучением.

#### **4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.



#### 4.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
<b>Семестр № 3</b>				
Раздел 1	Инверсия активной среды	ПК-14.1	3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-1
	Спектральные линии и усиление света.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-1
	Резонаторы и генерация.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-2
	Динамика процессов в лазере.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-3
	Основные типы лазеров.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-5-6
	Накачка лазеров с помощью газового разряда.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-7-8
	Генерация CO <sub>2</sub> -лазера.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-9-10
	Химические и эксимерные электроразрядные лазеры.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-11-12
	Измерение параметров лазерного излучения. Основные применения лазеров.		3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-13
			3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	УО-14
<b>Рубежный контроль</b>		ПК-14.1	3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	ДЗ-15
<b>Промежуточная аттестация</b>		ПК-14.1	3-ПК-14.1; У-ПК-14.1; В-ПК-14.1	Зачет-16

## 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 4.2.1 Примерные темы домашнего задания (ДЗ) и для устного опроса (УО)

1. Лазер мощностью 1 мВт излучает свет с длиной волны 632,8 нм и имеет ширину линии излучения 0,6 ГГц. Сравнить спектральную яркость данного лазера и излучения Солнца.
2. В какой области спектра излучения черного тела при температуре 1000 К интенсивность индуцированного излучения превосходит интенсивность спонтанного?
3. Возбужденный атом с энергией возбуждения 1 эВ находится в поле равновесного излучения с температурой 300 К. Найти отношение вероятностей индуцированного и спонтанного излучения атома.
4. Пусть отношение населенностей  $N_2/N_1$  двух уровней, находящихся в термодинамическом равновесии при температуре 300 К, равно  $1/e$ . Вычислите частоту излучения, соответствующую переходу между этими уровнями. В какую область спектра попадает излучение с такой частотой?
5. Запишите условия, при которых отношение концентраций частиц на верхнем и нижнем уровне в двухуровневой системе будут равны а) 0,1; б) 1; в) 10. Для перехода с энергией 1 эВ определите температуру. Задайте газокинетическую температуру среды, время релаксации и начертите вид кривой изменения температуры.
6. Вероятность перехода  $m - n$  составляет  $2 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ . Определить время жизни частицы в возбужденном состоянии и ширину энергетического уровня.
7. Лазерный резонатор состоит из двух зеркал с коэффициентами отражения  $R_1=1$  и  $R_2=0,5$ . Длина активной среды  $l = 7,5$  см, а сечение излучения лазерного перехода  $\sigma = 3,5 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ . Вычислите пороговую инверсию населенности.
8. Вычислите естественную ширину спектральной линии и ширину энергетического уровня, если коэффициент спонтанного излучения  $A$  составляет  $10^8 \text{ с}^{-1}$ .
9. Рассчитайте доплеровскую ширину спектральной линии неона с длиной волны 632,8 нм при температуре газа  $100^\circ \text{ C}$  и сравните ее с естественной шириной.
10. Вычислите столкновительное уширение спектральной линии молекулы углекислого газа с длиной волны 10,6 мкм при давлении газа  $10^5 \text{ Па}$  и температуре 400 К, сравните с доплеровским уширением и естественной шириной спектральной линией.
11. Для полости объемом  $V=1 \text{ см}^3$  определите число мод, имеющих длины волн в пределах полосы шириной  $\Delta\lambda=100$  ангстрем с центром в точке 600 нм.
12. В лазерном переходе неона на длине волны 1,15 мкм преобладает доплеровское уширение с шириной  $9 \cdot 10^8 \text{ Гц}$ . Время жизни верхнего уровня  $\sim 10^{-7} \text{ с}$ . Вычислите максимальное значение сечения перехода, если время жизни лазерного перехода равно полному времени жизни верхнего состояния.
13. В трехуровневой системе активным является переход 2-1. Укажите а) каким должно быть время жизни уровня 2 – большим или малым; б) каким должен быть коэффициент Эйнштейна для перехода 1-3 – большим или малым, в) какова должна быть скорость перехода 3-2 – большой или малой для создания максимального уровня инверсии.
14. Среднюю длину свободного пробега  $l$  электрона можно найти из соотношения  $l=1/N\sigma$ , где  $N$  – плотность числа атомов, а  $\sigma$  – полное сечение возбуждения атома электронным ударом. Предполагая, что  $\sigma$  есть сечение упругих столкновений и что для атомов гелия это сечение равно  $5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ , вычислите тепловую скорость и скорость дрейфа при

- энергии электронов 10 эВ, давлении гелия 1,3 Тор, температуре  $T=400$  К и напряженности приложенного к электродам разряда электрического поля 30 В/см.
15. Как влияет разность энергий уровней 4-3 и 2-1 на коэффициент полезного действия четырехуровневой лазерной системы.
  16. Определить дифракционный предел расходимости лазерного излучения гелий-неонового лазера, дающий пучок диаметром 3 мм.
  17. В лазере, работающем на длине волны 0,6 мкм и имеющем усиление по мощности за проход  $2 \cdot 10^{-2}$ , используется симметричный резонатор длиной  $L=1$  м. Радиус кривизны обоих зеркал резонатора  $R=10$  м. Вычислите такой размер апертуры зеркал, чтобы подавить  $TEM_{01}$  и сохранить при этом генерацию на моде  $TEM_{00}$ .
  18. Определить теоретически возможную ширину спектральной линии и степень монохроматичности излучения гелий-неонового лазера на длине волны 632,8 нм, если мощность излучения составляет 1 мВт, добротность резонатора  $10^8$ .
  19. Оцените максимальное значение степени когерентности лазерного излучения и сформулируйте условия его получения.
  20. Вычислите дифракционный предел расходимости плоского и гауссова пучка излучения  $CO_2$  - лазера диаметром 10 см.
  21. Оцените минимально возможное сечение сфокусированного пучка лазерного излучения с длиной волны 500 нм.
  22. В  $CO_2$ - лазере, генерирующем на двух соседних продольных модах, частота одной из которых совпадает с центром лазерного перехода  $\omega_0$ , длина резонатора равна 1 м, а коэффициент пропускания выходного зеркала составляет 80%. Вычислите межмодовое расстояние для этих мод, если известно, что ширина линии генерации равна  $\Delta\nu_0=50$  ГГц.

#### 4.2.2. Примерные задания к устному опросу (УО) и Зачету (З)

1. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Условие инверсии. Механизмы заселения верхнего и очистки нижнего уровней.
2. Форм-фактор спектральной линии. Уширение спектральных линий - однородное и неоднородное. Поглощение и усиление в активной среде. Зависимость от ширины спектральной линии.
3. Система уравнений для четырехуровневой модели. Коэффициент усиления и его связь с мощностью источника накачки.
4. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Критерий устойчивости резонаторов. Продольные и поперечные моды. Конкуренция мод.
5. Спектр генерации. Принципы частотной селекции. Когерентность и направленность индуцированного излучения.
6. Формирование поля излучения в лазерном резонаторе. Режим свободной генерации. Переходные процессы при развитии генерации. Инжекция лазерного излучения.
7. Основные методы накачки. Квантовый и технический КПД. Особенности конструкций и эксплуатации мощных лазеров.
8. Параметры разряда и системы накачки  $He-Ne$  лазера. Спектр и модовый состав излучения. Квантовый и технический КПД.
9. Основные компоненты активной среды  $CO_2$ -лазера. Система уравнений описывающих динамику генерации  $CO_2$ -лазера. Параметры разряда и системы накачки мощных ТЕА  $CO_2$  – лазеров.

10. Динамика формирования поля излучения в резонаторе  $\text{CO}_2$ -лазера. Особенности спектра и формы импульса генерации мощных ТЕА  $\text{CO}_2$  – лазеров.
11.  $\text{HF}$  – лазер с электроразрядным иницированием. Схема уровней и основные переходы. Механизм создания инверсии. Параметры излучения. Квантовый и технический КПД.
12. Экимеры. Электроразрядный  $\text{XeCl}$  – лазер. Система возбуждения. Механизм создания инверсии. Параметры излучения. Квантовый и технический КПД.
13. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Оптический пробой. Ускорение электронов лазерным излучением.
14. Методы и приборы регистрации формы импульса и спектра генерации. Оптические схемы для регистрации формы и спектра излучения мощных импульсных лазеров.

#### 4.2.3. Интерактивная форма, используемая в реализации дисциплины (УО)

Для решения воспитательных и учебных задач дисциплины «Физика электроразрядных лазеров» используются следующие интерактивные формы:

- Мозговой штурм;
- Case-study (анализ конкретных задач или ситуаций).

Всего занятий в интерактивной форме предполагается в объеме 10 часов (из РУПа). При выполнении интерактивных занятий студентам предлагается решить следующие проблемы:

№	Проблемы для интерактивных занятий	Методы и средства контроля
1	Оценка максимального значения степени когерентности лазерного излучения и сформулируйте условия его получения.	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов
2	Вычислите дифракционный предел расходимости плоского и гауссова пучка излучения $\text{CO}_2$ - лазера диаметром 10 см.	
3	Оцените минимально возможное сечение сфокусированного пучка лазерного излучения с длиной волны 500 нм.	
4	В $\text{CO}_2$ - лазере, генерирующем на двух соседних продольных модах, частота одной из которых совпадает с центром лазерного перехода $\omega_0$ , длина резонатора равна 1 м, а коэффициент пропускания выходного зеркала составляет 80%. Вычислите межмодовое расстояние для этих мод, если известно, что ширина линии генерации равна $\Delta\nu_0=50$ ГГц.	

#### 4.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука. 1988.
2. В.Ю.Баранов, В.М.Борисов, Ю.Ю.Степанов. Электроразрядные эксимерные лазеры и лазеры на галогенидах инертных газов. М.: Энергоатомиздат. 1988.
3. Л.В.Тарасов. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения» М:Радиосвязь. 1981.
4. А. Мэйтлэнд, М. Данн. Введение в физику лазеров. М.: Наука. 1978.
5. Учебное пособие «Основы физики лазеров» Ерошенко В.А. СарФТИ, Саров, 1998г.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. О. Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир. 1990.
2. И.Б. Делоне. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. М.: Наука. 1989.
3. И. Мак-Даниель, У. Нигэн. Газовые лазеры. М.: Мир. 1986.
4. И.В. Карлов, А.М. Прохоров. Квантовая электроника и эйнштейновская теория излучения. Успехи физических наук. Т. 28. Вып. 3. 1979. С. 537.

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>)
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>)
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия»
4. программное обеспечение (среда для LMTO расчетов MindLab 5.0, LMTART), интернет-ресурсы среда Maple, MatLab, базы данных aps.org, Elsevier.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Освоение дисциплины производится на базе учебной лаборатории кафедры в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса. Лаборатория оснащена современным оборудованием, позволяющим проводить практические занятия. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам и по квалификационным проектам.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В качестве материально-технического обеспечения используются ресурсы и программно-аппаратное обеспечение компьютерного класса.

При выполнении практических, научно-исследовательских, опытно-конструкторских, хозяйственных и госбюджетных работ используются современные средства измерения и контроля разных фирм и др.

## **ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При освоении дисциплины «Физика электроразрядных лазеров» применяются активная и интерактивная формы обучения в сочетании с самостоятельной работой. На аудиторных занятиях происходит изложение нового теоретического материала в виде лекций, разбираются решения типичных задач на применение полученных сведений для более глубокого понимания, проводится контроль выполнения домашних работ. Во время лекционных и практических занятий используются презентации и обсуждаются новые эксперименты, новые работы по физике газоразрядных лазеров, которые появились в научной литературе.

Организация занятий обязательно включает диалог со студентами по вопросам решения задач. Во время контроля выполнения заданий, предложенных для внеаудиторной самостоятельной работы, производится выступление студентов с вариантами решений.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов состоит из двух взаимосвязанных частей. Первая представляет собой освоение теоретического материала, вторая – приобретение практических навыков решения задач. Освоение теоретического материала производится по лекциям и указанной основной и дополнительной литературе. Решение задач, предложенных в качестве домашнего задания, позволяет студентам научиться решать типичные задания, возникающие при работе с газоразрядными лазерами.

Для решения воспитательных и учебных задач дисциплины используется 8 занятий в интерактивной форме (из РУПа).

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 03.04.01 «Прикладная математика и физика», профиль подготовки: «Электрофизика»

Автор: профессор кафедры ЭФ д.ф.м.н. Горохов Василий Васильевич,

Рецензент(ы): профессор кафедры ЭФ д.ф.-м.н. Гайнуллин Камиль Галиахметович