

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 3.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.02 Физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	2	72	7	38	0		27	0	3
3	2	72	8	24	0		40	0	ЗО
Итого	4	144	15	62	0	0	67	0	

АННОТАЦИЯ

В данной дисциплине излагается физическая сущность усиления и генерации света на основе индуцированного испускания излучения и принципы действия наиболее важных лазеров. Цель дисциплины-дать будущим специалистам в области лазерной физики знания, необходимые для разработки квантовых генераторов и современных лазерных технологий, обеспечивающих эффективное решение различных научно-технических задач.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Через изложение физической сущности усиления и генерации света на основе индуцированного испускания излучения и принципов действия наиболее важных лазеров дать будущим специалистам в области лазерной физики необходимые знания для практической деятельности по разработке квантовых генераторов и современных лазерных технологий.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Предметом курса является изучение физических основ усиления и генерации света, рассмотрение принципов работы лазеров всех основных типов и областей их применения.

Изучение дисциплины «Лазеры и их применения» основано на знании студентами общепрофессиональных математических и физических дисциплин, читаемых им на факультете теоретической и экспериментальной физики.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	3-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий
УК-4 [1] – Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для	3-УК-4 [1] – Знать: правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные

академического и профессионального взаимодействия	сообщества для профессионального взаимодействия У-УК-4 [1] – Уметь: применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия В-УК-4 [1] – Владеть: методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий
---	---

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; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Проводить научные исследования в области взаимодействия оптического излучения с биологическими тканями, в том числе, содержащими фотосенсибилизаторы	Биологические ткани, в том числе, содержащие фотосенсибилизаторы	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - знать методы проведения научных исследований и выполнения опытно-конструкторских работ в области физики ; У-ПК-1[1] - уметь самостоятельно формулировать цели, ставить задачи научных исследований в своей профессиональной сфере; решать физические задачи с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта; В-ПК-1[1] - владеть навыками работы на современной аппаратуре,

				оборудовании; навыками использования информационных технологий в своей профессиональной области
--	--	--	--	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	4/20/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
2	Часть 2	8-15	3/18/0		25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		7/38/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>3 Семестр</i>						
1	часть 1	1-8	4/12/0		28	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1,

						В-ПК-1, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
2	Часть 2	9-16	4/12/0	25	КИ-16	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/24/0	53		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр			47	ЗО	В-ПК-1, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4, З-ПК-1, У-ПК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	7	38	0
1-8	Часть 1	4	20	0
1 - 2	Тема 1. Радиационные переходы в квантовых системах. Спонтанные переходы. Индуцированные переходы в поле теплового излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Индуцированные переходы в монохроматическом поле. Сечение перехода. Форма и ширина линии перехода.	Всего аудиторных часов 1	5	0
3 - 4	Тема 2. Уширение спектральной линии. Эффект	0	0	0
				Всего аудиторных часов

	насыщения. Факторы, определяющие уширение спектральных линий. Однородный и неоднородный характер уширения. Эффект насыщения. Полевое уширение. Параметр насыщения.	1	5	0
	Онлайн			
	0	0	0	
5 - 6	Тема 3. Квантовые усилители. Усиление для слабого и сильного сигналов. Метод реализации положительной обратной связи в оптическом диапазоне Открытый резонатор и его добротность. Квантовые усилители с положительной обратной связью. Шумы квантовых усилителей. Предельные энергетические возможности квантовых усилителей.	Всего аудиторных часов		
	1	5	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
7 - 8	Тема 4.Квантовые генераторы. Амплитудное и фазовое условия генерации. Частота генерации. Эффект затягивание частоты генерации. Спектральная ширина линии генерации. Предельные энергетические возможности генераторов	Всего аудиторных часов		
	1	5	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
8-15	Часть 2	3	18	0
9 - 10	Тема 5.Модуляция добротности. Принцип модуляции добротности. Динамика гигантского импульса. Влияние скорости переключения добротности на характеристики излучения. Основные параметры гигантского импульса. Активные и пассивные методы модуляции добротности Режим разгрузки резонатора.	Всего аудиторных часов		
	1	5	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
11 - 12	Тема 6. Синхронизация мод. Принцип синхронизации мод. Длительность и частота повторения импульсов генерации в режиме синхронизации мод. Синхронизация мод в лазерах с однородно и неоднородно уширенными линиями рабочих переходов Активные и пассивные методы синхронизации мод. Компрессия импульсов. Методы измерения ультракоротких импульсов..	Всего аудиторных часов		
	1	5	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
13	Тема 7. Лазер на рубине. Уровни энергии ионов хрома в корунде. Спектроскопические характеристики трехвалентного иона хрома. Механизм образования инверсии. Накачка рубинового лазера. Стационарный и переходной режимы работы одномодового рубинового генератора.. Временные, спектральные, пространственные и энергетические характеристики излучения в режиме свободной генерации.	Всего аудиторных часов		
	0	3	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
14	Тема 8.Неодимовый лазер. Уровни энергии иона неодима в кристаллической матрице. Влияние электрон-фононного взаимодействия на релаксацию рабочих уровней неодима. Многофононная релаксация. Механизм образования инверсии. 4-х уровневая схема возбуждения и генерации. Стеклянная матрица. Сравнительные характеристики неодимовых лазеров с кристаллической и стеклянной матрицами.	Всего аудиторных часов		
	0	3	0	
	Онлайн			
	0	0	0	
15	Твердотельные лазеры на вибронных переходах. Колебательная структура в энергетическом спектре ионов группы железа в кристаллической матрице. Электронные и вибронные линии в спектре люминисценции.	Всего аудиторных часов		
	1	2	0	
	Онлайн			
	0	0	0	

	Хромосодержащие лазеры на вибронных переходах: лазеры на александrite, изумруде, редкоземельных галлиевых и скандиевых гранатах. Титан-сапфировый лазер. Распространение ультракороткого импульса в диспергирующей среде. Фемтосекундные лазеры.			
	<i>3 Семестр</i>	8	24	0
1-8	часть 1	4	12	0
1 - 3	Тема 10.Лазеры на растворах органических красителей. Лазеры на F-центрах. Энергетический спектр. Спектры поглощения и люминисценции Стоксов сдвиг. Механизм образования инверсии. Усиление. Пороговая накачка. Влияние оптических потерь и концентрации красителя на частоту генерации. Источники и схемы накачки. Условие получения непрерывного режима Импульсный режим генерации. Временные и спектральные характеристики излучения лазеров на красителях. Резонаторы, используемые в лазерах на красителях. Методы перестройки частоты и сужения ширины линии генерации. Виды F-центров и F-центры, используемые в лазерах. Методы получения F –центров. Методы накачки. Спектры поглощения и люминисценции. Механизм образования инверсии. Спектральные и энергетические характеристики лазеров на F -центрах .	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	5 0 0	0
4 - 5	Тема 11.Методы накачки газовых лазеров. Основные особенности газовой активной среды.Электрический разряд. Возбуждение при столкновении с электронами, тяжелыми частицами. Резонансные и нерезонансные столкновительные реакции. Газодинамическое, химическое, оптическое возбуждение. Фотодиссоциация.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	4 0 0	0
6 - 8	Тема 12. Лазеры на атомных газах. Не-Не лазер. Механизм возбуждения и образования инверсии. Роль вторичных процессов. Основные параметры активной среды, закон подобия. Конструкция и основные характеристики излучения . Одномодовый Не-Не лазер. Мощность и частота излучения. Лэмбовский провал. Лазеры с нелинейно поглощающей ячейкой внутренней и внешней. Стабилизация частоты излучения с использованием поглощающей ячейки. Нелинейная лазерная спектроскопия. Лазеры на сжатых инертных газах. Механизм заселения верхних рабочих уровней. Столкновительная дезактивация нижнего рабочего уровня. Лазеры на сжатых инертных газах с ядерной накачкой.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	3 0 0	0
9-16	Часть 2	4	12	0
9 - 10	Ионные лазеры. Возбуждение рабочих уровней и образование инверсии в лазере на ионах аргона. Влияние тока, давления, геометрии трубки, магнитного поля на энергетические характеристики аргонового лазера.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	3 0 0	0

11 - 12	Лазеры на парах металлов. Самоограниченные переходы. Гелий-кадмийевый, гелий-цинковый лазеры. Страты. Методы уменьшения шумов излучения. Лазеры с ядерной накачкой.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
13 - 14	СО2 лазер низкого давления. Колебательный спектр молекулы СО2. Заселение и релаксация рабочих уровней. Роль азота и гелия. Температурные эффекты. Диффузионное и конвективное охлаждение рабочей среды.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
15 - 16	Лазер на окиси углерода. Волноводные молекулярные лазеры. Волноводные резонаторы. Законы подобия. Энергетические и спектральные характеристики волноводных лазеров на СО2 и СО. Волноводные лазеры с высокочастотным возбуждением.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций и семинаров, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
УК-1	З-УК-1	З, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-УК-1	З, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16

	В-УК-1	3, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
УК-4	3-УК-4	3, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-УК-4	3, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-УК-4	3, КИ-8, КИ-15	ЗО, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			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	3 – «удовлетворительно»	E	
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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 73 Волоконные технологические лазеры и их применение : , Голубенко Ю. В., Богданов А. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : , Киселев Г. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. 621.37 Е30 Лабораторный практикум "Лазер на рубине" : учебное пособие для вузов, Проценко Е.Д., Егоров В.К., Москва: МИФИ, 2008
4. 621.37 К85 Лазеры ультракоротких импульсов и их применения : учебное пособие, Крюков П.Г., Долгопрудный: Интеллект, 2012
5. ЭИ Б 82 Лазеры: применения и приложения : , Ивакин С. В. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. 537 3-43 Принципы лазеров : , Звелто О., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
7. ЭИ К 85 Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики : , Крюков П. Г., Москва: Физматлит, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 Я73 Квантовая электроника : , Ярив А., М.: Сов. радио, 1980
2. 537 К23 Лекции по квантовой электронике : , Карлов Н.В., М.: Наука, 1988

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении первой части курса необходимо прежде всего усвоить и понять сущность и физическую картину эффектов связанных с резонансным взаимодействием электромагнитного излучения с двухуровневой квантовой системой: поглощение, усиление, насыщение. Уяснить значение индуцированных переходов для получения эффекта усиления электромагнитного излучения, роль насыщения при работе квантовых усилителей и генераторов (лазеров). Необходимо понять природу и свойства однородного и неоднородного уширения линии

перехода, особенности взаимодействия электромагнитного излучения со средой в этих двух случаях.

По второй части курса («Лазеры») необходимо знать и понимать общие принципы построения лазеров, условия возбуждения, стационарный и переходной режимы. Методы управления динамикой излучения лазеров и способы их реализации. Вопросы генерации «гигантских» и ультракоротких импульсов света. Методы измерения УКВ. Процессы. релаксации и накачки обеспечивающие получение инверсии и особенности этих процессов в различных лазерах. Необходимо иметь представление об основных характеристиках и возможностях наиболее распространенных лазеров. Другие конкретные данные, приводимые в лекциях, следует рассматривать как справочный материал, который может быть полезен при решении задач на семинарах и при выполнении студенческих исследовательских работ.

Следует максимально использовать возможности лабораторного практикума «Лазерная физика» поддерживающего данный курс, в части получения практических навыков работы с лазерами и лазерными системами.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс состоит из двух частей: в первой излагаются вопросы взаимодействия излучения с веществом и ряд общих вопросов квантовых усилителей и генераторов. Вторая часть посвящена собственно лазерам.

В первой части необходимо обратить внимание на следующее.

Вероятность индуцированных переходов при конечном времени когерентного взаимодействия. Природу однородного и неоднородного уширения спектральных линий и особенности взаимодействия света с двухуровневой системой с однородным и неоднородным характером уширения резонансного перехода.

.Усиления на основе индуцированных переходов в термодинамически неравновесных системах и эффект насыщения в двухуровневой квантовой системе.

Основные свойства квантовых усилителей и генераторов. Методы реализации обратной связи в оптическом диапазоне,

По второй части курса обратить внимание на следующее.

Общие принципы построения лазера. Анализ стационарного и переходного режимов. Механизмы образования инверсии в различных лазерах. Физические основы и методы генерации «гигантских» и ультракоротких импульсов в лазерах

При изложении материала необходимо уделять большое внимание выяснению физической сути рассматриваемых эффектов Для этого наряду с математическим анализом использовать анализ физический - качественное объяснение изучаемых явлений и процессов. Сложные математические выкладки целесообразно перенести на семинары или самостоятельную работу. Изложение материала необходимо сопровождать простыми численными оценками, решением простых задач.

Автор(ы):

Проценко Евгений Дмитриевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

д.ф.м.н., профессор, Киреев С.В.