

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Данил Олег Владимирович

Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 13.10.2023 14:40:35

Уникальный программный ключ:

d85fa2f259a0913da9b08299985891736420181f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Снежинский физико-технический институт –  
филиал федерального государственного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СФТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

\_\_\_\_\_ П.О.Румянцев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика лазеров

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки «Физика атомного ядра и частиц»

Квалификация (степень) выпускника Бакалавр

Форма обучения очная

г. Снежинск, 2020 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины Физика лазеров является ознакомление студентов с основами волновой оптики, физики полупроводников и твердотельных лазеров и их применением.

Задача изучения дисциплины «Физика лазеров» состоит в том, чтобы дать необходимые для понимания работы оптических квантовых генераторов сведения по физике твердого тела и волновой оптике, оптике резонаторов, природе взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина Б1.О.15 «Физика лазеров» относится к обязательным дисциплинам Блока Б1 «Дисциплины (модули)» рабочего учебного плана ООП ВО по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии». Курс «Физика лазеров» посвящен одному из важных разделов современной физики, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков. «Физика лазеров» изучается на третьем курсе в шестом семестре обучения.

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин (практик) учебного плана: Физика (волны и оптика) (Б1.Б.8.4), Физический практикум (Б1.В.ОД.3), Атомная физика (Б1.Б.18), Теоретическая физика (квантовая механика) (Б1.В.ОД.7.1), Физика плазмы (Б1.В.ОД.8), Уравнения математической физики (Б1.В.ОД.9).

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для освоения следующих дисциплин (практик) учебного плана: Физика лазеров (часть 2) (Б1.Б.22), Экспериментальные методы физики (Б1.Б.24), Физические установки (Б1.В.ОД.12), Плазменные установки (Б1.В.ДВ.7.2), Взаимодействие лазерного излучения с веществом (Б1.В.ДВ.10.1), Производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности) (Б2.П.1), Научно-производственная практика (Б2.П.3).

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

В результате изучения дисциплины обучающимися должны быть освоены следующие компетенции:

ПК-3 Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций;

ПК-7 Способен к монтажу, наладке, настройке, регулировке, испытанию и сдаче в эксплуатацию оборудования и программных средств;

ПК-19.1 Способен разрабатывать способы применения ядерно-энергетических установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

УКЕ-1 Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах.

В результате освоения дисциплины «Физика лазеров» обучающийся должен:

Знать:

З-ПК-3 Знать основные физические законы и методы обработки данных;

З-ПК-7 Знать требования стандартов при проведении монтажа, наладки, настройки, регулировки, испытаний оборудования и программных средств;

З-ПК-19.1 Знать способы применения ядерно-энергетических установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

З-УКЕ-1 Знать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Уметь:

У-ПК-3 Уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций

У-ПК-7 Уметь проводить монтаж, наладку, настройку, регулировку, испытание оборудования и программных средств;

У-ПК-19.1 Уметь применять ядерно-энергетические установки, электронные, нейтронные и протонные пучки, методы экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

У-УКЕ-1 Уметь использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи.

Владеть:

В-ПК-3 Владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией

В-ПК-7 Владеть навыками монтажа, наладки, настройки, регулировки, испытания и ввода в эксплуатацию оборудования и программных средств;

В-ПК-19.1 Владеть навыками обращения с ядерно-энергетическими установками, электронными, нейтронными и протонными пучками в современном эксперименте, методами экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

В-УКЕ-1 Владеть методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

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

Семестр	Трудоем- кость, ЗЕТ	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	КСР, час.	СРС, час.	Форма контроля, экз./зачет
6	2	72	36	18	0	18	Зачет
7	3	108	36	36		9	Экзамен, 27 ч

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 ЗЕТ, 180 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости и (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Макс. балл за раздел *
			Лекции	Практ. занятия/семинары	Лаб. работы			
<b>6 семестр</b>								
1	Волновое движение. Электромагнитные волны	1	1			конспект лекции контрольные вопросы	КВ1 – 2	3
2	Дифракция	2	1			конспект лекции		3
3	Дифракция (продолжение)	3	1			конспект лекции	КВ2 – 3	
4	Фурье оптика	4	1	2		конспект лекции контрольные вопросы		3
5	Фурье оптика (продолжение)	5	1			конспект лекции	КВ3 – 6	
6	Голография	6	1	2		конспект лекции контрольные вопросы		3
7	Основные характеристики электромагнитного излучения и принцип работы лазера	7	1	2		конспект лекции контрольные вопросы		3
8	Принцип работы лазера (продолжение)	8	1	2		конспект лекции контрольные вопросы	КВ4 – 8	
9	Открытые резонаторы	9	1			конспект лекции		3
10	Открытые резонаторы (продолжение). Реферативные доклады	10	1	2		конспект лекции контрольные вопросы	КВ5 – 10	3
11	Лазер. Режимы генерации импульсных лазеров	11	1			конспект лекции		
12	Лазер. Режимы генерации импульсных лазеров (продолжение). Реферативные доклады	12	1			конспект лекции контрольные вопросы	КВ6 – 11	3
13	Волновое движение и квантовая механика	13	1			конспект лекции	КВ7 – 13	
14	Основы физики полупроводниковых приборов: основы зонной теории кристаллов; металлы	14	1	2		конспект лекции контрольные вопросы	КВ8 – 15	3
15	Полупроводниковые лазеры	15	1			конспект лекции		
16	Полупроводниковые лазеры (продолжение)	16	1	2		конспект лекции контрольные вопросы	КВ9 – 16	3
17	Интерференционные явления на границах	17	2	2		конспект лекции	КВ10 – 17	

	диэлектриков. Моды оптических волноводов					задачи		
18	Реферативные доклады	18		2		Рефераты, презентации	РП1 – 18	20
Всего:			36	18				50
	Зачет							50
	Итого за 6 семестр:							100

### **Раскрытие лекционных тем и тем практических занятий**

Тема 1. Волновое движение. Электромагнитные волны.

Понятие о волновом движении. Уравнение плоской волны. Принцип суперпозиции волн. Принцип Гюйгенса. Интерференция света. Когерентность волн. Временная и пространственная когерентность. Поляризация света.

Тема 2. Дифракция.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Приближение Кирхгофа. Тонкая линза. Зоны Френеля. Дифракция Френеля на простейших препятствиях. Дифракция Фраунгофера на простейших препятствиях. Дифракционная решетка. Дифракция рентгеновских лучей. Дисперсия дифракционной решётки. Разрешающая способность. Дифракция рентгеновских лучей.

Тема 3. Фурье оптика.

Фурье преобразование периодических и непериодических функций. Двумерное Фурье преобразование. Распространение и дифракция лазерного излучения. Комплексная амплитуда. Распространение света в свободном пространстве. Пространственная частота. Дифракция на транспаранте. Разложение по плоским волнам и преобразование Фурье. Соотношение неопределенности. Преобразование Фурье, осуществляемое при помощи линзы. Оптическая схема Катрона. Принцип двойной дифракции. Пространственная фильтрация.

Тема 4. Голография.

Принципы записи и восстановления волновых фронтов. Основные схемы голографической записи. Обращение волнового фронта. Преодоление дифракционного предела.

Тема 5. Основные характеристики электромагнитного излучения и принцип работы лазера.

История открытия различных источников электромагнитного излучения. Спонтанное и вынужденное излучения, поглощение. Излучение абсолютно черного тела. Основные параметры электромагнитного излучения. Принцип работы лазера. Инверсная населенность. Принцип работы лазера. Схемы накачки. Свойства лазерных пучков. Типы лазеров.

Тема 6. Открытые резонаторы.

Моды резонатора. Продольные и поперечные моды. Распространение оптических пучков в однородных и линзоподобных средах. Закон АВСВ. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Методы селекции мод. Продольные моды. Одночастотный лазер.

Тема 7. Лазер. Режимы генерации импульсных лазеров.

Свободная генерация. Моноимпульсный режим генерации. Режим синхронизации мод. Активные среды твердотельных лазеров. Способы оптической накачки твердотельных лазеров.

Тема 8. Волновое движение и квантовая механика.

Экспериментальные и теоретические предпосылки квантовой механики. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме. Собственные функции. Квантовый осциллятор. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.

Тема 9. Основы физики полупроводниковых приборов. Основы зонной теории кристаллов; металлы.

Частицы и квазичастицы. Энергетические зоны кристалла. Энергетические зоны проводников, полупроводников и диэлектриков. Дефекты кристаллов и локальные энергетические уровни. Движение электронов в кристалле. Эффективная масса электрона. Распределение квантовых состояний электронов внутри энергетической зоны металлов. Квантовая статистика электронов в металле. Статистика Ферми-Дирака. Энергия Ферми, вырожденный электронный газ. Контактные явления.

Тема 10. Полупроводниковые лазеры.

Полупроводниковые лазеры. Фотофизические свойства полупроводниковых лазеров. Излучательные и безызлучательные переходы. Накачка полупроводниковых лазеров. Лазер на гомопереходе. Лазер на двойном гетеропереходе. Полупроводниковые лазеры и их характеристики.

Тема 11. Интерференционные явления на границах диэлектриков. Моды оптических волноводов.

Уравнения Максвелла в среде. Дисперсия. Волновое уравнение. Отражение и преломление световых волн. Формулы Френеля. Коэффициенты отражения. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Сдвиг фаз при полном внутреннем отражении от границы двух диэлектрических сред. Туннельный эффект. Моды оптических волноводов. Число мод в волноводе. Число мод в волноводе. Потери при стыковке одномодовых волноводов.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Лекции проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

2. Разбор задач и поиск их решения проводится в рамках практических занятий на каждой учебной неделе и в часы, отведенные на контролирующую самостоятельную работу. Занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой при поиске метода решения поставленной задачи и оформлении решения. Преподаватель обеспечивает консультационное сопровождение процесса поиска решения. Через семинар выдается домашнее задание. Решение проверяется на каждом втором семинаре. Защита домашних заданий предусмотрена на 18 учебной неделе семестра. Приём заданий возможен как в рукописном, так и в печатном виде.

3. Один раз в три недели преподавателем проводится текущая консультация. Вопросы можно задавать лично преподавателю в назначенное время.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

Самостоятельная работа студентов составляет 25% от общего объема занятий, предусмотренных рабочим учебным планом направления подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» – 18 часов.

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках лекционных и практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного изучения оглашаются преподавателем в конце каждого занятия и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством ответов на контрольные вопросы, а также проверки домашних заданий и конспекта лекции.

Промежуточная аттестация проводится в виде контрольного письменного тестирования. Максимальный балл за усвояемость определенного информационного объема материала установлен п.4. настоящей рабочей программы.

Зачет проводится в виде контрольного тестирования.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

а) основная литература:

7.1. Курс общей физики [Текст] / Зисман Г.А., Годес О.М. – [Б. м.]: [б. и.]. Т. 3: Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц: учебное пособие / Зисман Г.А., Годес О.М. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 504 с.). – ISBN 978-5-8114-4103-7 (ЭБС «Лань»)

7.2. Курс физики [Текст] / Савельев И.В. – [Б. м.]: [б. и.]. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие / Савельев И.В. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 308 с.). – ISBN 978-5-8114-4254-6 (ЭБС «Лань»)

7.3. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение [Текст] / Ю. Айхлер, Г.И. Айхлер; пер. с нем. – Москва: Техносфера, 2012. – 495 с. – (Мир физики и техники). – ISBN 978-5-94836-309-7 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.4. Общий курс физики [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Сивухин Д.В. – 3-е изд., стереотип. – М.: Физматлит; МФТИ. Т.4: Оптика. – [Б. м.], 2013, 2005, 2002. – 792 с. – ISBN 5-9221-0229-X. - ISBN 5-89155-087-3. – ISBN 5-89155-077-6: 183.04р. – ISBN 5-9221-0228-1 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.5. Фортов, В.Е. Физика высоких плотностей энергий [Текст] / В.Е. Фортов. – Москва: Физматлит, 2012. – 710 с. – ISBN 978-5-9221-1468-4 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.6. Звелто, О. Принципы лазеров [Текст] / О. Звелто; пер. с англ. – изд. 4. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008. – 719 с. – (Учебные пособия для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-0844-3 (ЭБС НИЯУ МИФИ)



б) дополнительная литература:

7.7. Кащенко, С.А. Релаксационные колебания в лазерах [Текст] / С.А. Кащенко, Е.В. Григорьева. — Москва: Либроком, 2013. — 265 с. — (Синергетика: от прошлого к будущему. №64). — ISBN 978-5-397-03324-4 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.8. Салех, Б. Оптика и фотоника. Принципы и применения [Текст]: в 2-х т. / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. — Долгопрудный: Интеллект. Т.1. — [Б. м.], 2012. — 759 с. — ISBN 978-5-91559-038-9 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.9. Салех, Б. Оптика и фотоника. Принципы и применения [Текст]: в 2-х т. / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. — Долгопрудный: Интеллект. Т.2. — [Б. м.], 2012. — 780 с. — ISBN 978-5-91559-135-5 (ЭБС НИЯУ МИФИ)

7.10. Жданов Г.С., Либенсон М.Н., Марциновский Г.А. Оптика внутри дифракционного предела // УФН. 1998. Т. 168, N7. С. 801-804.

7.11. С.Л. Ахманов, Р.В. Хохлов. Параметрические усилители и генераторы света, «УФН», 1966, т.88, в. 3. — с. 439.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

– <http://www.ph4s.ru>, раздел Математика, электронный курс по математическому анализу «Дифференциальное исчисление», разработанный кафедрой ВМ НИЯУ МИФИ: <http://80.250.160.82/index.php>;

– ОС Microsoft Windows;

– Пакет Microsoft Office.

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

а) Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и практического типа (л212), укомплектованная специализированной мебелью и средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории:

– Ноутбук HP;

– Проектор ACER X1260

б) Помещение для самостоятельной работы обучающихся (л318), оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду:

– Персональный компьютер на базе Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) – 15 шт.

– Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) – 1 шт.

– Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии», утвержденного Ученым советом НИЯУ МИФИ 31.05.2018 г., протокол №18/03.

Автор: \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_