

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ПРАКТИКУМ ПО КОМПЬЮТЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

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, экс./зач./КР/КП
2	2	72	0	0	30		42	0	3
Итого	2	72	0	0	30	40	42	0	

АННОТАЦИЯ

Курс «Практикум по компьютерному моделированию оптических систем» должен сформировать у студентов навыки моделирования процессов, происходящих в различных оптических системах. Задачей курса является также обучение студентов использованию строгих методов связанных волн при решении задач моделирования современных оптических устройств на основе тонкопленочных покрытий и дифракционных оптических элементов. Это позволит им при необходимости разрабатывать новое программное обеспечение. Безусловной задачей курса является также освоение существующего программного обеспечения, ориентированного на расчет и проектирование оптических покрытий. В результате обучения они получают умение и навыки правильно оценить сложность научно-исследовательских и конструкторских заданий на разработку дифракционных оптических элементов и устройств, аргументированно выбирать метод решения конструкторской задачи, а затем экономично и эффективно выполнять компьютерный дизайн требуемого дифракционного оптического покрытия или устройства.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса «Практикум по компьютерному моделированию оптических систем» является подробное ознакомление студентов с устойчивыми современными методами численного решения математических задач, возникающих при изучении взаимодействия электромагнитного излучения в области светового диапазона с веществом, в особенности с наноструктурами. Эта область знаний особенно быстро развивается в последние годы в связи с широким применением наноэлементов и тонких (менее одного микрометра толщиной) пленок, используемых в производстве жидкокристаллических дисплеев, солнечных батарей на основе диэлектриков, фотоэмиссионных диодов, просветляющих покрытий, поляризаторов, миниатюрных лазеров, управляемых оптических элементов. Задачи оптики наноструктур практически не поддаются аналитическому решению, поэтому важным является не только освоение теоретического материала, но и изучение эффективных численных методов, используемых при решении данного класса задач, приобретение навыков создания программного обеспечения для численного моделирования различных оптических наноструктур.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина "Практикум по компьютерному моделированию оптических систем" преподается на первом курсе магистратуры (2-ой семестр). Поэтому для успешного освоения программы данной дисциплины требуется повторение изученных материалов по следующим дисциплинам (в скобках указываются содержательные разделы, полезные для изучения данной дисциплины):

«Математический анализ» 2-ой семестр (интегральное исчисление функции одной переменной, понятие определенного и неопределенного интеграла);

«Линейная алгебра» 2-ой семестр (системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), критерий Кронекера-Капелли совместности СЛАУ, однородные СЛАУ, критерий существования ненулевого решения однородной СЛАУ);

«Обыкновенные дифференциальные уравнения» 3-ий семестр (ОДУ с разделяющимися переменными, однородные ОДУ, линейные ОДУ первого порядка, уравнения в полных дифференциалах, линейные ОДУ высших порядков, линейные однородные ОДУ, свойства их решений, фундаментальная система решений ЛОДУ, структура общего решения ЛОДУ, ЛОДУ с постоянными коэффициентами, структура общего решения ЛНДУ, метод вариации произвольных постоянных, ЛНДУ с постоянными коэффициентами и специальной правой частью).

«Теория функций комплексного переменного» 4-ый семестр (лемма Жордана, теория вычетов).

Необходимы также знания по курсам: «Волны и оптика», «Вычислительные методы в физике» (4-ый семестр бакалавриата), «Взаимодействие излучения с веществом» (1-ый семестр магистратуры), «Физическая оптика» (1-ый и 2-ой семестры магистратуры).

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	З-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологи и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых 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		
выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики на	элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики элементная база полупроводниковых,	ПК-1 [1] - способен владеть навыками компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного	З-ПК-1[1] - Знать: основные понятия, математический аппарат и алгоритмы обработки и анализа характеристик информационных

<p>базе разработанных и имеющихся средств исследования и проектирования, включая стандартные и специализированные пакеты прикладных программ</p>	<p>волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации элементная база и системы преобразования и отображения информации элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры оптические системы искусственного интеллекта устройства и системы компьютерной фотоники</p>	<p>анализа характеристик информационных систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>сигналов; базовые и современные схемные и алгоритмические решения оптических и фотонных систем обработки и хранения информации ; У-ПК-1[1] - Уметь: использовать современные компьютеры для решения научно-исследовательских задач; строить простые и средней сложности математические модели информационных сигналов и систем; ; В-ПК-1[1] - Владеть: способами создания моделей для описания и прогнозирования различных явлений, осуществления их качественного и количественного анализа; практическими навыками численного моделирования типовых задач в своей предметной области с требуемой степенью точности;</p>
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики на основе анализа научно-технической информации с</p>	<p>фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики</p>	<p>ПК-4.3 [1] - Способен применять современные информационные технологии в решении научно-исследовательских и/или проектно-конструкторских</p>	<p>3-ПК-4.3[1] - Знать: Основы современных информационных технологий, необходимых для решения научно-исследовательских и/или проектно-</p>

<p>применением современных информационных технологий</p>		<p>задач в области радиофотоники.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>конструкторских задач в области радиофотоники.; У-ПК-4.3[1] - Уметь: Применять современные информационные технологии в решении научно-исследовательских и/или проектно-конструкторских задач в области радиофотоники.; В-ПК-4.3[1] - Владеть: Современными информационными технологиями, необходимыми для решения научно-исследовательских и/или проектно-конструкторских задач в области радиофотоники.</p>
--	--	--	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	Первый раздел	1-8	0/0/16		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-

							4.3, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
2	Второй раздел	9-15	0/0/14		25	КИ-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 4.3, У- ПК- 4.3, В- ПК- 4.3, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		0/0/30		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 4.3, У- ПК- 4.3, В- ПК- 4.3

* – 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
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	0	0	30
1-8	Первый раздел	0	0	16
1 - 2	<p>Электромагнитное поле в недиспергирующей среде. Электромагнитные волны. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн.</p> <p>Система уравнений Максвелла. Уравнение непрерывности. Материальные уравнения связи.</p> <p>Граничные условия для нормальных компонент магнитной и электрической индукции. Граничные условия для тангенциальных компонент векторов напряженности магнитного и электрического полей. Закон сохранения энергии для электромагнитного поля.</p> <p>Волновые уравнения для напряженностей электрического и магнитного полей в однородной среде.</p> <p>Скалярные волны: плоские волны, сферические волны.</p> <p>Векторные волны. Электромагнитная плоская волна общего вида. Поперечная поляризация плоской электромагнитной волны, плотность энергии, поток энергии.</p> <p>Условия на бесконечности. Законы отражения и преломления Снеллиуса. Формулы Френеля для параллельной и перпендикулярной линейных поляризаций. Отражательная и пропускающая способности; поляризация при отражении и преломлении.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	0	4
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<p>Распространение электромагнитных волн в слоистых средах. Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах.</p> <p>Система уравнений Максвелла в слоистой диэлектрической среде. Система двух дифференциальных уравнений второго порядка для двух независимых поляризаций. Характеристическая матрица для слоистой среды. Коэффициенты отражения и преломления.</p> <p>Уравнения геометрической оптики. Метод характеристик. Лучевые уравнения и уравнение эйконала.</p> <p>Геометрооптическое решение для скалярного поля.</p> <p>Уравнение для амплитуды в геометрической оптике.</p> <p>Лучевой якобиан. Отражение и преломление волн на границах раздела.</p> <p>Каустики. Типы каустик.</p> <p>Распространение волн в плоско-неоднородных средах.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	0	4
		Онлайн		
		0	0	0

	Лучи и каустики в линейном слое.			
5 - 6	Электромагнитное поле в анизотропных средах. Дифракция и рассеяние электромагнитных волн в оптическом диапазоне. Оптические волноводы. Уравнения Максвелла для анизотропной среды. Уравнения Максвелла для плоских монохроматических волн в анизотропной среде. Волновое и дисперсионное уравнения. Дисперсионное уравнение для плоской электромагнитной волны в анизотропной среде (уравнение Френеля). Электромагнитные волны в одноосной анизотропной среде, поляризации обыкновенной и необыкновенной волн. Дифракция света на отверстиях и рассеяние на металлических и диэлектрических предметах. Дифракция на клине, дифракция на щели. Дифракция на диэлектрическом цилиндре. Рассеяние на сферических частицах. Одномерная дифракционная решетка. Амплитудная решетка, фазовая решетка. Дисперсионное уравнение решетки. Основы геометрической оптики волноводов и резонаторов. Лучевое описание мод в однородных волноводах. Модовая теория. Затухание. Дисперсия мод.	Всего аудиторных часов		
		0	0	4
		Онлайн		
		0	0	0
7	Применение метода геометрической оптики для моделирования оптического поля в неоднородных средах. Полное внутреннее отражение. Моделирование эффекта полного внутреннего отражения. Расчеты лучей и амплитуд в плавно-неоднородных плоскостойких средах (линейный и квадратичный слой). Нахождение каустик и зон Френеля. Моделирование эффекта полного внутреннего отражения.	Всего аудиторных часов		
		0	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
8	Моделирование многослойных изотропных оптических систем матричным методом. Моделирование распространения векторного поля в многослойной среде методом отражений (the reflectivity method).	Всего аудиторных часов		
		0	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	0	0	14
9 - 11	Моделирование многослойных изотропных оптических систем матричным методом (продолжение). Получение переходной матрицы оптической системы. Реализация алгоритма моделирования однослойной изотропной оптической системы матричным методом. Расчет амплитудных коэффициентов отражения-преломления оптической системы. Реализация алгоритма моделирования многослойной оптической системы матричным методом. Расчет энергетических коэффициентов отражения-пропускания многослойной среды.	Всего аудиторных часов		
		0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	Моделирование многослойных анизотропных оптических систем матричным методом в слоистых средах с трансверсальной изотропией.	Всего аудиторных часов		
		0	0	4
		Онлайн		

	Расчет амплитудных коэффициентов отражения-преломления оптической системы в анизотропных слоистых средах с трансверсальной изотропией. Реализация алгоритма моделирования многослойной анизотропной оптической системы матричным методом. Расчет энергетических коэффициентов отражения-пропускания многослойной среды.	0	0	0
14 - 15	Моделирование дифракции света. Моделирование распространение света в волноводах. Дифракция волны на клине и щели. Расчет дифракционной решетки. Моделирование распространения световой волны в планарном волноводе.	Всего аудиторных часов		
		0	0	4
		Онлайн		
		0	0	0

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

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
7	Применение метода геометрической оптики для моделирования оптического поля в неоднородных средах. Полное внутреннее отражение. Моделирование эффекта полного внутреннего отражения. Расчеты лучей и амплитуд в плавно-неоднородных плоскостойких средах (линейный и квадратичный слой). Нахождение каустик и зон Френеля. Моделирование эффекта полного внутреннего отражения.
8	Моделирование многослойных изотропных оптических систем матричным методом. Моделирование распространения векторного поля в многослойной среде методом отражений (the reflectivity method).
9 - 11	Моделирование многослойных изотропных оптических систем матричным методом (продолжение). Получение переходной матрицы оптической системы. Реализация алгоритма моделирования однослойной изотропной оптической системы матричным методом. Расчет амплитудных коэффициентов отражения-преломления оптической системы. Реализация алгоритма

	моделирования многослойной оптической системы матричным методом. Расчет энергетических коэффициентов отражения-пропускания многослойной среды.
12 - 13	Моделирование многослойных анизотропных оптических систем матричным методом в слоистых средах с трансверсальной изотропией. Расчет амплитудных коэффициентов отражения-преломления оптической системы в анизотропных слоистых средах с трансверсальной изотропией. Реализация алгоритма моделирования многослойной анизотропной оптической системы матричным методом. Расчет энергетических коэффициентов отражения-пропускания многослойной среды.
14 - 15	Моделирование дифракции света. Моделирование распространение света в волноводах. Дифракция волны на клине и щели. Расчет дифракционной решетки. Моделирование распространения световой волны в планарном волноводе.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Образовательные технологии являются стандартными. При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа;
- самостоятельная работа студентов;
- лабораторные занятия – самостоятельное решение предлагаемых компьютерном практикуме задач по соответствующим тематикам.

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)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-4.3	З-ПК-4.3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4.3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4.3	З, КИ-8, КИ-15
УКЦ-2	З-УКЦ-2	КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-2	КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-2	КИ-8, КИ-15

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	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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ N73 Essentials of Modern Optical Fiber Communication : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ M37 Introduction to Physics of Second-Order Magnetic Phase Transitions : учебное пособие, : НИЯУ МИФИ, 2015
3. ЭИ K23 Molecular dynamics in multiscale modeling : учебное пособие, : НИЯУ МИФИ, 2015
4. ЭИ L66 Nanostructuring for Nitride Light-Emitting Diodes and Optical Cavities : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
5. ЭИ Ф 15 Вычислительные методы линейной алгебры : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2009

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М 74 Теория aberrаций оптических систем : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2013
2. 538.3 П64 Излучение и распространение электромагнитных волн в анизотропной среде : , А. И. Потехин, Москва: Наука, 1971
3. 535 С20 Оптика : полный курс: учеб. пособие для вузов, А. М. Саржевский, Москва: УРСС, 2004
4. 681.7 3-18 Теория оптических систем : Учебник для вузов, Заказов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И., М.: Машиностроение, 1992
5. 681.7 В94 Вычислительная оптика : справочник, М. М. Русинов [и др.], Москва: ЛКИ, 2008
6. 535 3-18 Прикладная геометрическая оптика : , Н.П. Заказов, М.: Машиностроение, 1984
7. 535 С60 Дифракция и волноводное распространение оптического излучения : , С. Солимено, Б. Крозиньяни, П. Ди Порто, М.: Мир, 1989
8. 535 К79 Геометрическая оптика неоднородных сред : , Ю.А. Кравцов, Ю.И. Орлов, М.: Наука, 1980

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

Студентам рекомендуется исправно посещать занятия, внимательно слушать инструкции преподавателя к практическим и лабораторным занятиям и при необходимости задавать вопросы, стараясь добиться полного и ясного понимания материала. Требуется тщательно конспектировать новый материал в удобной и доступной для восприятия форме. Необходимо уделять время самостоятельной работе, изучению методических материалов и другой рекомендуемой литературы и при необходимости поиску дополнительных источников информации. Рекомендуется также повторить материал, изученный в бакалавриате, в особенности по курсам Электричество и магнетизм, Оптика, Теория поля.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Преподавателю рекомендуется активно взаимодействовать со студентами, отвечать на разумные вопросы и обеспечить по возможности полное понимание излагаемого материала. При этом стоит учитывать предварительно приобретенные знания и умения, при необходимости делать акцент на наименее знакомых большинству студентов темах курса. Особое внимание при изложении материала, во время проведения практических и лабораторных занятий следует уделять вопросам практического и приборного применения затрагиваемых физических процессов, с целью повышения мотивации студентов к его усвоению.

Автор(ы):

Савченко Александр Алексеевич

Рецензент(ы):

Масленников А.М.