

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В COMSOL**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.03.03 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
5	1	36	16	0	0		20	0	3
Итого	1	36	16	0	0	0	20	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Цель преподавания данной дисциплины состоит в изложении начальных сведений о методах численного моделирования физических процессов методом конечных элементов в среде COMSOL Multiphysics, уделив при этом основное внимание тем задачам, которые возникают в физике наноструктур и сверхпроводимости. Акцент курса сделан на получении необходимых для проведения численного моделирования навыков: составление уравнений математической физики, описывающих решаемую проблему, постановка граничных условий и составление краевых задач, создание геометрической модели, работа с сеточными методами, построение адаптивной сетки элементов, настройка решателя, работа с различными физическими модулями, работа с электрическими цепями, постобработка и визуализация результатов.

Основными задачами освоения дисциплины являются: обучение постановке физической задачи: составление уравнений математической физики, описывающих решаемую проблему, постановка граничных условий и составление краевых задач. получение базовых представлений о принципах построения мультифизических моделей в среде моделирования COMSOL Multiphysics. Начальный уровень подготовки студентов, необходимый для успешного освоения данной дисциплины должен включать знание математического анализа, линейной алгебры, теории функций комплексного переменного, обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных, знания курса общей физики, в частности электродинамики, термодинамики и молекулярной физики, электротехники в объеме примерно двух-трех семестрового курса по каждой из перечисленных дисциплин.

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

Цель преподавания данной дисциплины состоит в изложении начальных сведений о методах численного моделирования физических процессов методом конечных элементов в среде COMSOL Multiphysics, уделив при этом основное внимание тем задачам, которые возникают в физике наноструктур и сверхпроводимости. Акцент курса сделан на получении необходимых для проведения численного моделирования навыков: составление уравнений математической физики, описывающих решаемую проблему, постановка граничных условий и составление краевых задач, создание геометрической модели, работа с сеточными методами, построение адаптивной сетки элементов, настройка решателя, работа с различными физическими модулями, работа с электрическими цепями, постобработка и визуализация результатов.

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

Содержание программы представляет собой развитие полученных ранее знаний в области математики и физики и использования численных методов для моделирования физических процессов, уделив при этом основное внимание тем задачам, которые возникают в физике наноструктур и сверхпроводимости. В ней используются основные понятия, концепции, представляющие собой теоретическую базу, освоенную студентами при изучении дисциплины. Изучение дисциплины позволит студентам получить и развивать навыки вычислительной

работы при решении задач моделирования в физике конденсированного состояния и наносистем.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

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-исследовательской			
Моделирование систем, использующих оптические методы обработки информации, и результатов их работы; построение математических моделей для анализа свойств объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи	Методы и технологии фотоники и оптоинформатики	ПК-2 [1] - способен к математическому моделированию процессов и объектов фотоники и оптоинформатики, их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.007, 06.018	З-ПК-2[1] - Знать возможности стандартных пакетов автоматизированного проектирования при математическом моделировании объектов фотоники и оптоинформатики.; У-ПК-2[1] - уметь решать типичные математические задачи на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками самостоятельной разработки программ при математическом моделировании процессов и объектов фотоники и оптоинформатики.
проектно-конструкторский			
Проектирование и конструирование оптических технологий передачи,	Элементная база фотоники и оптоинформатики и цифровые методы	ПК-6 [1] - способен проводить поверку, наладку и регулировку оборудования,	З-ПК-6[1] - Знать общие принципы, правила и методы поверки, наладки и

<p>приема, обработки, хранения и отображения информации; участие в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов изделий, узлов, элементов приборов и систем фотоники и оптоинформатики</p>	<p>анализа</p>	<p>настройку программных средств, используемых для разработки, производства и настройки приборной техники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.018</p>	<p>регулировки оборудования, настройки программных средств ; У-ПК-6[1] - Уметь подготавливать испытательное оборудование и измерительную аппаратуру, выбрать метод поверки, наладки и регулировки оборудования, настройки программных средств ; В-ПК-6[1] - Владеть навыками тестирования оборудования, настройки программных средств</p>
--	----------------	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия,</p>

		<p>развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного</p>

		<p>коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности</p>

		при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уровне пользователям.

## 5. 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>5 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/0/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Часть 2	9-16	8/0/0		25	КИ-16	З-ПК-2, У-

							ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 6, У- ПК-6, В- ПК-6
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		16/0/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>				50	3	3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 6, У- ПК-6, В- ПК-6

\* – 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>5 Семестр</i>	16	0	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	0	0
1	<b>Тема 1</b> Общие сведения о методе конечных элементов. Разбиение на конечные элементы. Задача интерполяции	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Тема 2</b> Общие сведения о программном пакете COMSOL	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3</b> Создание модели и построение расчетной области	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		



		0	0	0
4	<b>Тема 4</b> Постановка краевой задачи и определение начальных и граничных условий	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Тема 5</b> Построение расчетной сетки элементов	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 6</b> Работа с решателем COMSOL и обработка полученных результатов	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Тема 7</b> Методы расчета магнитных полей COMSOL. Решение задач сверхпроводимости	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Тема 8</b> Работа с модулем теплопередачи	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	8	0	0
9	<b>Тема 9</b> Создание мультифизических моделей	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Тема 10</b> Работа с электрическими цепями в COMSOL. Применение к решению задач сверхпроводимости.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 11</b> Моделирование взаимодействия излучения с веществом методом конечных элементов	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 16	<b>Практическая часть</b> Отладка программ и сдача заданий	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

По направлению подготовки (специальности) предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса предусмотрено использование лицензионных программных продуктов при проведении самостоятельных расчетов.

## 7. 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-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	З, 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	Оценка «хорошо» выставляется

75-84		С	студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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»	Ф	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.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Л12 Лабораторный практикум "Компьютерное моделирование наноструктур" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. ЭИ Ф 33 Основы работы в ANSYS 17 : , Москва: ДМК Пресс, 2017
3. ЭИ К 27 Теория тепломассопереноса: решение задач для многослойных конструкций : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2022
4. ЭИ Б 30 Численные методы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
5. 519 Б30 Численные методы : учебное пособие для вузов, Москва: Бинوم. Лаборатория знаний, 2015
6. ЭИ Е 60 Численные методы: введение в теорию разностных схем : учебное пособие для академического бакалавриата, Москва: Юрайт, 2019

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.3/.6 Р 15 Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов : , Москва: Физматлит, 2013

2. 536 Ф79 Теплоперенос в анизотропных твердых телах : численные методы, тепловые волны, обратные задачи, Москва: Физматлит, 2015
3. ЭИ К 88 Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2022
4. ЭИ К 40 Физика. Электричество и магнетизм. Курс лекций с примерами решения задач : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. ЭИ Е 60 Численные методы: введение в теорию разностных схем : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2022
6. 519 П44 Компьютерный практикум "Основы численных методов решения физических задач" : , А.И.Подливаев, Е.Е.Львов, Л.А.Опёнов, М.: МИФИ, 2004

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. COMSOL Multiphysics (7a-4)

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. ИС Введение в COMSOL Multiphysics (<https://www.comsol.ru/> )

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Студентам стоит обновить свои знания программирования, численных методов, функционального анализа и уравнений математической физики. При изучении интерфейса пакета COMSOL Multiphysics рекомендуется не пропускать этапы и аккуратно пройти по всем стадиям создания модели и процесса моделирования. Рекомендуется попробовать реализовать расчёт собственной задачи, связанной с вашей НИР, перед этим обсудив и уточнив её формулировку и параметры с научным руководителем.

### **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При ведении данного курса следует обращать внимание студентов на общий принцип формулировки мультифизической модели, выбора уравнений и граничных условий. Оказывать необходимую помощь при начальном знакомстве с интерфейсом пакета. Объяснить принципы, определяющие выбор расчетной сетки, параметры решателя и т.д.

Автор(ы):

Осипов Максим Андреевич

Покровский Сергей Владимирович