

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Е.А. Турилова

17 февраля 2023 г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Моделирование и проектирование микро- и наносистем

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Дулов Е.Н. (Кафедра физики твердого тела, Отделение физики), Evgeny.Dulov@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования
ОПК-7	Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- методы информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности;
- методы формального описания компонентов микро- и наносистем;
- методы расчета и моделирования базовых компонентов микро- и наносистем;
- методы расчета и моделирования базовых процессов при изготовлении компонентов микро- и наносистем;
- физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;

Должен уметь:

- применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
- использовать навыки работы с компьютером;
- проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;
- анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;
- рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники;
- использовать базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований промышленного производства компонентов нано- и микросистемной техники.

Должен владеть:

- методами численного моделирования и расчета параметров микро- и наносистем;
- методами информационных технологий;
- расчётами и проектированием компонент нано- и микросистемной техники.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- готовность рассчитывать и проектировать основные параметры наноструктурных материалов различного функционального назначения;
- применять основные физико-математические и физико-химические модели материалов и компонентов нано- и микросистем;
- применять методы и средства компьютерного моделирования нано- и микросистем;
- проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистем;
- готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники.

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.О.19 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника (Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и наноэлектронной техники)" и относится к обязательной части ОПОП ВО.

Осваивается на 4 курсе в 8 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 69 часа(ов), в том числе лекции - 12 часа(ов), практические занятия - 22 часа(ов), лабораторные работы - 34 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 39 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет с оценкой в 8 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Уровни описания и параметры проектируемых объектов, классификация проектных процедур.	8	1	0	3	0	0	0	4
2.	Тема 2. Основные методы описания объектов и процессов.	8	1	0	3	0	0	0	4
3.	Тема 3. Механические модели в электромеханике, физико-математические и морфолого-топологические модели базовых элементов, моделирование микроэлектромеханических систем.	8	2	0	2	0	6	0	4
4.	Тема 4. Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем.	8	1	0	3	0	6	0	4
5.	Тема 5. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов.	8	2	0	2	0	6	0	4
6.	Тема 6. Структура систем автоматизированного проектирования, виды обеспечения САПР, международная стандартизация в области автоматизации проектирования микросистем.	8	2	0	2	0	6	0	4
7.	Тема 7. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Технологические ограничения.	8	1	0	3	0	0	0	5
8.	Тема 8. Проектирование топологии мембранных элементов микросистем.	8	1	0	2	0	5	0	5
9.	Тема 9. Резистивные мостовые схемы.	8	1	0	2	0	5	0	5
	Итого		12	0	22	0	34	0	39

**4.2 Содержание дисциплины (модуля)**

**Тема 1. Уровни описания и параметры проектируемых объектов, классификация проектных процедур.**

Основные стадии и этапы проектирования. Классификация задач проектирования по степени новизны. Основные этапы проектирования по содержанию их задач. Понятие о проектных процедурах, операциях, маршрутах проектирования. Примеры задач расчета, анализа, синтеза, оптимизации. Типовой алгоритм этапа проектирования. Понятие о способах проектирования. Иерархия уровней проектирования. Подходы, реализующие уровни проектирования.

## **Тема 2. Основные методы описания объектов и процессов.**

Методы описания процесса для анализа и стандартизации. Блок-схема (Block-Diagram). Диаграмма последовательности (алгоритм, Flow Chart). Диаграмма потоков (например, DFD, IDEF0). Карта процесса (Process Map). Сетевой график (Activity Network Diagram). Процессно-функциональная диаграмма (Process/function Diagram). Диаграмма процесса принятия решения (Process Decision Program Chart); Объектно-событийное описание.

## **Тема 3. Механические модели в электромеханике, физико-математические и морфолого-топологические модели базовых элементов, моделирование микроэлектромеханических систем.**

Механические модели в электромеханике: механическое равновесие, уравнение баланса динамических величин, уравнение движения. Физико-математические и морфолого-топологические модели базовых элементов 'объемной' и 'поверхностной' микромеханики: статические и динамические модели мембран, балок, струн, маятников; размерные эффекты, масштабирование. Моделирование микросистем с электрическими и магнитными полями: полевые уравнения, краевые задачи; проектирование электростатических и электромагнитных приводов движения; расчет конструкции пьезоэлектрического и магнитострикционного микроактюатора. Моделирование процессов поглощения и диссипации энергии в микроэлектромеханических системах, термический анализ. Моделирование микропотоков жидкости и газа в капиллярах и микроклапанах.

## **Тема 4. Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем.**

Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем: спектральные фильтры, интерференционные покрытия, зеркала, линзы, дифракционные решетки. Моделирование распространения света в объемном и планарном волноводах; рассеяние света на микронеоднородностях. Проектирование базовых элементов управления оптическим излучением: электро-, акусто-, магнитооптическая ячейки. Методика расчета оптического тракта устройства интегральной оптики: физико-топологическая модель, эффекты масштабирования, размерный фактор.

## **Тема 5. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов.**

Понятие о математических моделях (ММ) и их классификация. Основные параметры ММ. Основные требования, предъявляемые к ММ. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов: резисторы, конденсаторы, индуктивности, диоды, транзисторы, трансформаторы, коммутационные линии. Физико-технологические и топологическая модели элементной базы интегральных микросхем: моделирование базовых технологических операций, аналитическое описание фрагментов базовых биполярных и униполярных структур, эффекты масштабирования.

## **Тема 6. Структура систем автоматизированного проектирования, виды обеспечения САПР, международная стандартизация в области автоматизации проектирования микросистем.**

Применение ЭВМ для автоматизации задач проектирования (основные этапы развития). Состав САПР. Принципы построения САПР. Понятие о техническом обеспечении САПР. Понятие о математическом обеспечении САПР. Понятие о лингвистическом обеспечении САПР. Понятие о программном обеспечении САПР. Понятие о прикладном обеспечении САПР. Понятие об информационном обеспечении САПР. Способы организации размещения данных. Способы структурирования данных. Понятие о СУБД.

### **Тема 7. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Технологические ограничения.**

Классификация металлов, сплавов, пассивных и активных диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений, композиционных материалов по их физико-химическим, электрическим и оптическим свойствам и назначению; основные виды и свойства нанообъектов, наноматериалов, приборов и устройств на их основе, типовые технологические процессы их получения, элементная база, типовое оборудование.

### **Тема 8. Проектирование топологии мембранных элементов микросистем.**

Методы проектирования топологии мембранных и балочных элементов микросистем. Методика расчета эквивалентных механических параметров мембран сложной топологии для элементов микросистемной техники. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов. Численное моделирование мембранных и балочных элементов микросистем.

### **Тема 9. Резистивные мостовые схемы.**

Чувствительность. Источники погрешностей и способы их устранения. Ратиометрический способ включения. Начальный разбаланс. Нелинейность преобразования. Температурные погрешности. Саморазогрев. Тензорезисторные мостовые схемы и их применение в микромеханике. Пример структуры "кремний на сапфире".

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

#### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

#### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Журнал 'Нано- и микросистемная техника' - [http://www.microsystems.ru/archives.php?id\\_table=1](http://www.microsystems.ru/archives.php?id_table=1)

Информационные ресурсы МИЭТа - <http://miet.ru/content/s/203>

МИРЭА: Учебно-методические материалы - <http://www.edamc.mirea.ru/metod.html>

МИЭТ: Учебный процесс - <http://miet.ru/structure/s/241/e/1472/48>

ЮФУ: Кафедра конструирования электронных средств -

[https://sfedu.ru/www/stat\\_pages22.show?p=ELS/inf/D&x=ELS/-3000000000027](https://sfedu.ru/www/stat_pages22.show?p=ELS/inf/D&x=ELS/-3000000000027)

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**



Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.
практические занятия	В ходе практических занятий рекомендуется: - делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике); - составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора); - готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы); - создавать конспекты (развернутые тезисы).
лабораторные работы	В случае возникновения неясностей при прохождении лабораторного практикума рекомендуется письменно сформулировать вопросы, выписать неясные термины и обратиться к преподавателю. Выполнение лабораторных работ включает в себя изучение студентом теоретической части каждой из работ с последующей оценкой преподавателем степени готовности студента к выполнению работы. При достаточном уровне готовности студент получает допуск к выполнению работы на экспериментальной установке. Учебно-методические материалы по всем видам работ, включающие как теоретическую, так и практическую части, доступны в электронном виде на сайте КФУ. Экспериментальные результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ, оформляются в произвольном виде. Объем представляемого материала определяется самим студентом. Он должен быть аккуратным, хорошо читаемым, не содержать не относящуюся к теме информацию или рисунки.
самостоятельная работа	Изучение дисциплины и самостоятельную работу следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса. Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре института учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины. Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.
зачет с оценкой	Зачёт представляет собой совокупную оценку работы студента над теоретическими и экспериментальными частями курса. В отведённое для зачёта время студент может улучшить оценку по отдельным разделам курса, дополнив и/или переработав отчётные материалы с учётом комментариев преподавателя, если они имели место.

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.



Компьютерный класс.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки "Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.О.19 Моделирование и проектирование микро- и наносистем

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

**Основная литература:**

1. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : учебное пособие / А. И. Гусев. - 2-е изд., испр. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 416 с. - ISBN 978-5-9221-0582-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2173> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Афонский, А. А. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике : монография / А. А. Афонский, В. П. Дьяконов. - Москва : ДМК Пресс, 2011. - 688 с. - ISBN 978-5-94074-626-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/900> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди, А. В. Берёзкин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 456 с. - ISBN 978-5-9221-0988-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2291> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Левицкий, А. А. Проектирование микросистем. Программные средства обеспечения САПР [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / А. А. Левицкий, П. С. Маринушкин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2010. - 156 с. - ISBN 978-5-7638-2111-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/442124> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: по подписке.

**Дополнительная литература:**

1. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : сборник научных трудов / под редакцией У. Жу, Ж. Л. Уанга ; перевод с английского С. А. Иванова, К. И. Домкина ; художник Н. А. Новак. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-142-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/166756> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Рамбиди, Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 256 с. - ISBN 978-5-9221-0869-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2290> (дата обращения: 01.07.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Приложение 3*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.О.19 Моделирование и проектирование микро- и наносистем*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
Институт физики

**Фонд оценочных средств по дисциплине**

Б1.О.19 – Моделирование и проектирование микро- и наносистем

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

- 1. СООТВЕТСТВИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЛАНИРУЕМЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**
- 2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ**
- 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНОК ЗА ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНУЮ АТТЕСТАЦИЮ**
- 4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА, ПОРЯДОК ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**
  - 4.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ
    - 4.1.1. Письменная работа 1, 2, 3*
      - 4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.
      - 4.1.1.2. Критерии оценивания
      - 4.1.1.3. Содержание оценочного средства
  - 4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ
    - 4.2.1. Зачёт*
      - 4.2.1.1. Порядок проведения.
      - 4.2.1.2. Критерии оценивания.
      - 4.2.1.3. Оценочные средства.

## 1. Соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Проверяемые результаты обучения для данной дисциплины	Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации
ОПК-1 – способность решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	<p><u>Знать</u> основы физико-математического моделирования исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники</p> <p><u>Уметь</u> использовать физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники</p> <p><u>Владеть</u> навыками физико-математического моделирования исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники</p>	<p><b>Текущий контроль:</b> Письменная работа</p> <p><b>Промежуточная аттестация:</b> Зачёт</p>
ОПК-7 – способность проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники	<p><u>Знать</u> содержание ключевых разделов настоящей дисциплины</p> <p><u>Уметь</u> применять знания настоящей дисциплины в практической и самостоятельной деятельности</p> <p><u>Владеть</u> навыками использования знаний настоящей дисциплины в научно-исследовательской работе и практической деятельности</p>	<p><b>Текущий контроль:</b> Письменная работа</p> <p><b>Промежуточная аттестация:</b> Зачёт</p>

## 2. Критерии оценивания сформированности компетенций

Компетенция	Критерии оценивания результатов обучения			Не зачтено
	Высокий уровень (отлично) (86-100 баллов)	Средний уровень (хорошо) (71-85 баллов)	Низкий уровень (удовлетворительно) (56-70 баллов)	
ОПК-1	<u>Знает</u> Знает основы физико-математического моделирования исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	<u>Знает</u> Знает большую часть основ физико-математического моделирования исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	<u>Знает</u> Знает отдельные разделы основ физико-математического моделирования исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	<u>Знает</u> Не знает или воспроизводит с грубыми ошибками
	<u>Умеет</u> Успешно и систематически умеет использовать физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	<u>Умеет</u> В целом умеет использовать физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники с	<u>Умеет</u> Частично умеет использовать физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	<u>Умеет</u> Не умеет или допускает грубые ошибки
	<u>Владеет</u> Успешное и систематическое владение навыками решать задачи, используя знания о	<u>Владеет</u> В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решать задачи, используя знания о	<u>Владеет</u> В целом успешное, но не систематическое владение навыками решать задачи, используя знания о физико-	<u>Владеет</u> Фрагментарное владение навыками; не способен анализировать; не знает или допускает



	физико-математическом моделировании исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	физико-математическом моделировании исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной	математическом моделировании исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники	грубые ошибки
ОПК-7	<u>Знает</u> Успешное и систематическое знание разделов настоящей дисциплины	<u>Знает</u> В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание разделов настоящей дисциплины	<u>Знает</u> В целом успешное, но не систематическое знание разделов настоящей дисциплины	<u>Знает</u> Фрагментарное знание содержания разделов настоящей дисциплины
	<u>Умеет</u> Успешное и систематическое умение применять знания, полученные при изучении настоящей дисциплины, в практической и самостоятельной исследовательской работе	<u>Умеет</u> В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания, полученные при изучении настоящей дисциплины, в практической и самостоятельной исследовательской работе	<u>Умеет</u> В целом успешное, но не систематическое умение применять знания, полученные при изучении настоящей дисциплины, в практической и самостоятельной исследовательской работе	<u>Умеет</u> Фрагментарное умение применять знания, полученные при изучении настоящей дисциплины, в практической и самостоятельной исследовательской работе
	<u>Владеет</u> Успешное и систематическое владение навыками использования знаний настоящей дисциплины в научно-исследовательской работе и практической деятельности	<u>Владеет</u> В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками использования знаний настоящей дисциплины в научно-исследовательской работе и практической деятельности	<u>Владеет</u> В целом успешное, но не систематическое владение навыками использования знаний настоящей дисциплины в научно-исследовательской работе и практической деятельности	<u>Владеет</u> Фрагментарное владение навыками использования знаний настоящей дисциплины в научно-исследовательской работе и практической деятельности

### 3. Распределение оценок за формы текущего контроля и промежуточную аттестацию

6 семестр:

Текущий контроль:

Письменная работа 1 – 17

Письменная работа 2 – 17

Письменная работа 3 – 16

Итого  $17 + 17 + 16 = 50$  баллов

Промежуточная аттестация – зачёт

Устный ответ по билету, в каждом билете 1 вопрос, время на подготовку ответа 60 минут.

Устный ответ по вопросу билета – 50

Итого 50 баллов

Общее количество баллов по дисциплине за текущий контроль и промежуточную аттестацию:  $50+50=100$  баллов.

Соответствие баллов и оценок:

Для экзамена:

86-100 – отлично

71-85 – хорошо

56-70 - удовлетворительно

0-55 – неудовлетворительно

#### 4. Оценочные средства, порядок их применения и критерии оценивания

##### 4.1. Оценочные средства текущего контроля

##### 4.1.1. Письменная работа 1, 2, 3

##### 4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Письменная работа проводится по вариантам в часы аудиторной работы. В каждом варианте – один вопрос по теме лекций. Итого за письменную работу студент может заработать до 17 баллов в первой и второй письменной работе, и до 16 баллов в третьей письменной работе. Время выполнения письменной работы – 40 минут.

##### 4.1.1.2. Критерии оценивания

**Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– набрал от 43 до 50 баллов включительно по итогам прохождения двух тестов.

**Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– набрал от 36 до 42 баллов включительно по итогам прохождения двух тестов.

**Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– набрал от 28 до 35 баллов включительно по итогам прохождения двух тестов.

**Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– набрал от 0 до 27 баллов включительно по итогам прохождения двух тестов.

##### 4.1.1.3. Содержание оценочного средства

Примеры вопросов к письменным работам по дисциплине «Моделирование и проектирование микро- и наносистем». Список вопросов ориентировочный, формулировки могут варьироваться, список вопросов может дополняться.

Ориентировочные вопросы к письменной работе 1:

1. Каковы основные стадии и этапы проектирования?
2. Что такое способы проектирования?
3. Приведите примеры задач расчета, анализа, синтеза, оптимизации.
4. Какие методы описания процессов Вы знаете?
5. Что такое процессно-функциональная диаграмма?
6. Приведите пример объектно-событийное описания.
7. Для чего нужны уравнение баланса динамических величин и уравнение движения?
8. Как Вы понимаете размерные эффекты, масштабирование в микромеханике?
9. Какова роль краевых задач в проектировании устройств микромеханики?
10. Перечислите базовые компоненты оптических систем.

Ориентировочные вопросы к письменной работе 2:

1. Как Вы понимаете размерные эффекты, масштабирование в микромеханике?
2. Какова роль краевых задач в проектировании устройств микромеханики?
3. Перечислите базовые компоненты оптических систем.
4. Опишите физико-топологическую модель в методике расчёта оптического тракта устройства интегральной оптики
5. Что такое размерный фактор?
6. Уровни описания и параметры проектируемых объектов, классификация проектных процедур.
7. Основные методы описания объектов и процессов.
8. Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем.
9. Опишите типовой набор компонент САПР.
10. Что представляет собой математическое обеспечение САПР?

Ориентировочные вопросы к письменной работе 3:

1. Опишите типовой набор компонент САПР.
2. Что представляет собой математическое обеспечение САПР?
3. Для чего нужны СУБД?
4. Опишите классификацию материалов в микросистемной технике. Какие свойства материалов имеют значение?

5. Какие методы экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники Вы знаете?
6. Перечислите основные виды и свойства нанообъектов, наноматериалов.
7. Приведите пример топологии мембраны для микросистемной техники.
8. Какова роль мембранных элементов и область применения?
9. Как рассчитываются параметры мембран?
10. Структура систем автоматизированного проектирования, виды обеспечения САПР.
11. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Технологические ограничения.
12. Механические модели в электромеханике.

## 4.2. Оценочные средства промежуточной аттестации

### 4.2.1. Зачёт

#### 4.2.1.1. Порядок проведения.

Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос и время на подготовку. Зачёт проходит по билетам в устной форме. Каждый билет содержит один вопрос. Максимальный балл за зачёт – 50. Обучающемуся даётся один билет и время на подготовку – 60 минут. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий. Итоговый балл выставляется по сумме баллов за три письменных работы в семестре и зачёт.

#### 4.2.1.2. Критерии оценивания.

##### **Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– свободно владеет основными понятиями, дает полные ответы на вопросы, демонстрирует высокую подготовленность и эрудицию.

##### **Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– владеет основными понятиями, дает ответы на вопросы, допуская отдельные погрешности и неточности.

##### **Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– в целом, владеет основными понятиями, в ответе на вопросы допускает значительные погрешности и неточности.

##### **Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

– не дает правильных ответов на вопросы, показывает слабое владение основными понятиями.

#### 4.2.1.3. Оценочные средства.

Вопросы к зачёту:

1. Уровни описания и параметры проектируемых объектов.
2. Проектирование, классификация проектных процедур.
3. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов.
4. Структура систем автоматизированного проектирования.
5. Проектирование топологии мембранных элементов микросистем.
6. Резистивные мостовые схемы.
7. Международная стандартизация в области автоматизации проектирования микросистем.
8. Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем.
9. Механические модели в электромеханике.
10. Моделирование микроэлектромеханических систем.
11. Балочные уравнения и балочные функции Крылова.
12. Эффекты масштаба в колебании кантилевера.
13. Эффекты масштаба в колебании балки.
14. Микроэлектромеханические резонаторы радиочастотного диапазона.
15. Микромеханические актюаторы.
16. Оптические устройства микросистемной техники.
17. Метод конечных элементов для численного решения задач микромеханики.
18. Применение модели элементов с сосредоточенными параметрами в микромеханике.
19. Навигационные датчики на основе устройств микросистемной техники.
20. Микромеханические источники энергии.
21. Планарные технологии микроэлектроники для создания устройств микросистемной техники.