

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Основы сканирующей зондовой  
микроскопии

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород  
2023 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы сканирующей зондовой микроскопии» относится к дисциплинам по выбору вариативной части (блок Б1.В.ДВ3) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина преподаётся в 8-м семестре.

### Целями освоения дисциплины являются:

- научно обоснованное представление об основных численных методах расчета полей в системах со сложным контуром границы расчетной области
- дать представление о совокупности основных физических принципов, закономерностей и методов исследования, составляющих фундамент современной физической электроники.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции*  (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1. Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2. Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	Знать различные методы моделирования электронно-оптических систем. Уметь проводить сравнительный анализ различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных Владеть навыком проводить численное моделирование с помощью метода сеток, метода конечных элементов и	<i>Задача, собеседование</i>

		метода интегральных уравнений и вспомогательных зарядов.	
ПК-2. Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов. ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи. ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.	Знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов. Уметь рационально выбрать метод решения полевой задачи при численном моделировании Владеть навыками владеть навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач при проектировании мощных приборов СВЧ электроники.	Задача, собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 23 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (0 часов занятия лекционного типа, 22 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов групповые консультации, 0 часов индивидуальные консультации, 0 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и	Всего	В том числе
----------------	-------	-------------

краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	(часы)		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них											Самостоятельная работа обучающегося, часы		
			Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Консультации		Всего					
	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная			Очно-заочная
1. Введение	19				2							2		17		
2. Общие вопросы моделирования электронно-оптических систем (ЭОС)	10				4							4		6		
3. Метод сеток	10				4							4		6		
4. Метод конечных элементов	10				4							4		6		
5. Методы интегральных уравнений и вспомогательных зарядов	11				4							4		7		
6. Методика выбора метода решения полевой задачи при численном моделировании	11				4							4		7		
<b>Промежуточная аттестация: зачет</b>																

#### 4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических занятий.

**Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях практического типа:**

- проблемное изложение учебного материала.
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

## 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

### 5.1 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Основные положения метода трубок тока.
2. Методика сведения уравнений в частных производных к системе линейных алгебраических уравнений в методе сеток.
3. Анализ геометрии области в методе сеток.
4. Методы решения сеточных уравнений. Скорость сходимости методов.
5. Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.).
6. Методика использования метода конечных элементов в областях произвольной формы.
7. Задание граничных условий в методе конечных элементов. Решение неоднородных уравнений.
8. Методика получения системы линейных алгебраических уравнений большого порядка в методах интегральных уравнений и вспомогательных источников. Достоинства и недостатки методов.
9. Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

**6.1.** Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

### ПК-2

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей

ов.							
<u>Умения</u> Уметь рационально выбрать метод решения полевой задачи при численном моделировании	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть навыками владеть навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач при проектировании мощных приборов СВЧ электроники.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-1

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать различные методы моделирования электронных-оптических систем.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь проводить сравнительный анализ различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть навыком проводить численное моделирование с помощью метода сеток, метода конечных элементов и метода интегральных уравнений	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

й и вспомога тельных зарядов.							
Шкала оценок по проценту правильн о выполнен ных контроль ных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания.

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета с оценкой, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть предусматривает решение задачи.

### Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на занятиях.  100 %-ное выполнение контрольных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами.

	<p>Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.</p> <p>Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Студент посещал занятия.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.</p> <p>Выполнение контрольных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы.</p> <p>Выполнение контрольных заданий менее 20 %.</p>

**6.3.** Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- устные и письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

**Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются:** устный опрос, решение практических задач.

**6.4.** Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

### **Вопросы для оценки сформированности компетенций ПК-1, ПК-2**

1. Основные положения метода трубок тока.
2. Методика сведения уравнений в частных производных к системе линейных алгебраических уравнений в методе сеток.
3. Анализ геометрии области в методе сеток.
4. Методы решения сеточных уравнений. Скорость сходимости методов.
5. Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.).
6. Методика использования метода конечных элементов в областях произвольной формы.
7. Задание граничных условий в методе конечных элементов. Решение неоднородных уравнений.
8. Методика получения системы линейных алгебраических уравнений большого порядка в методах интегральных уравнений и вспомогательных источников. Достоинства и недостатки методов.
9. Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

### **Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ПК-1, ПК-2**

1. Вывести формулу для конечно-разностного аналога уравнения Пуассона.
2. В магнетронно-инжекторной пушке известны шаг электронной траектории  $h$  и расстояние катод-анод  $d$ . Найти величину шага сетки. Рассмотреть 2 случая: а) решается уравнение Лапласа, б) решается уравнение Пуассона.
3. В триоде известен диаметр прутика сетки  $2R$  и расстояние катод-анод  $d$ . Сетка расположена посередине между катодом и анодом. Как выбрать шаг разностной сетки для нахождения распределения потенциала?
4. Написать критерий сходимости метода итераций при использовании метода трубок тока, если производится моделирование винтового электронного пучка.
5. Сравнить между собой величину числа узлов конечно-разностной сетки и сетки конечных элементов в триоде, если известен диаметр прутика сетки  $2R$  и расстояние катод-анод  $d$ . Сетка расположена посередине между катодом и анодом. Рассмотреть разное соотношение между  $2R$  и  $d$ .

**6.5.** Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

##### а) основная литература

1. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. Радио и связь, 1990.
2. Шалимова К. В. - Физика полупроводников: [учеб. для вузов]. - М.: Энергия, 1976. - 416 с.

##### б) дополнительная литература

1. И.В.Алямовский. Электронные пучки и электронные пушки. М. : Сов. радио, 1966. - 454 стр.
2. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. (Под ред. Дж. Холла и Дж. Уатта). М.: Мир, 1979, 640 стр.

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Лекционный зал с проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению (профилю), специальности (специализации) Радиофизика.

Автор Мануилов В.Н.

Рецензент Осипов Г.В.

Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.