

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

**Моделирование физических процессов в
электромагнитных полях
рабочая программа дисциплины (модуля)**

Закреплена за кафедрой **Общей и экспериментальной физики**

Учебный план 1.3.2. 06_24_00.plx
 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
Недель	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	18	18	18	18
Практические	18	18	18	18
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	72	72	72	72
Итого	10	10	108	108

г. Рязань

Программу составил(и):

д.техн.н., зав. каф., Дубков Михаил Викторович; к.т.н., доц., Буробин Михаил Анатольевич

Рабочая программа дисциплины

Моделирование физических процессов в электромагнитных полях

разработана в соответствии с:

ФГТ к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951)

составлена на основании учебного плана:

1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

утвержденного учёным советом вуза от 26.01.2024 протокол № 7.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Общей и экспериментальной физики

Протокол от 10.06.2024 г. № 9

Срок действия программы: 2024-2028 уч.г.

Зав. кафедрой Дубков Михаил Викторович

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Общей и экспериментальной физики

Протокол от ____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Общей и экспериментальной физики

Протокол от ____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Общей и экспериментальной физики

Протокол от ____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Общей и экспериментальной физики

Протокол от ____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Цель дисциплины: изучение аспирантами методов исследования эмиссионных систем, применением их в приборах электронной Целями освоения дисциплины «Моделирование физических процессов» являются изучение принципов численного моделирования физических процессов в электронных системах; численных методов интерполяции, интегрирования и дифференцирования; приближенных и численных методов решения нелинейных уравнений и обыкновенных дифференциальных уравнений; численный гармонический анализ; метод Монте-Карло; методы оптимизации расчета электронных устройств; обратные и некорректные задачи и методы их решения.
-----	--

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	К освоению программ аспирантуры допускаются лица, имеющие образование не ниже высшего образования (специалитет или магистратура, в том числе лица, имеющие образование, полученное в иностранном государстве, признанное в Российской Федерации. (Постановление от 30 ноября 2021г №2122 "ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ О ПОДГОТОВКЕ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ (АДЪЮНКТУРЕ) п.4 раздела I.
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	Принципы построения математических моделей электронных приборов и устройств.
3.2	Уметь:
3.2.1	На основе известных физических законов составлять рабочие уравнения, описывающие физические поля в электронных приборах и процессы взаимодействия с ними движущихся заряженных частиц
3.3	Владеть:
3.3.1	Практическими навыками составления алгоритмов решения на ЭВМ уравнений математической модели

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетен-ции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Введение.					
1.1	Введение. /Тема/	4	0			
1.2	Предмет и задачи курса. Требования, предъявляемые к математическим моделям: адекватность, экономичность, точность, универсальность. Классификация математических моделей. Ограничения ММ. /Лек/	4	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
1.3	/Ср/	4	8		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
	Раздел 2. Методы моделирования электростатических полей.					
2.1	Методы моделирования электростатических полей. /Тема/	4	0			

2.2	Метод конечных разностей, типы краевых задач, задание граничных условий при расчете ЭВП. Конечно-разностный аналог уравнения Лапласа и Пуассона. /Лек/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
2.3	Итерационные методы решения системы конечно-разностных уравнений. Метод одномерной прогонки. Метод продольно-поперечных прогонок Пирсмана-Ракфорда. Метод функции Грина. Метод интегральных уравнений. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
2.4	/Ср/	4	14		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 3. Методы моделирования магнитных полей.					
3.1	Методы моделирования магнитных полей. /Тема/	4	0			
3.2	Растет магнитных полей на ЭВМ. Расчет собственных полей потоков заряженных частиц, уравнения Максвелла. Расчет внешних магнитных полей, использование метода конечных разностей для расчета магнитных полей в системе полюсных наконечников и экранов. /Лек/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
3.3	Расчет магнитного поля по его осевому распределению, параксиальное приближение; трехмерный случай, использование в качестве исходных экспериментальных данных, получаемых на установках с датчиками Холла. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
3.4	/Ср/	4	14		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 4. Моделирование процессов движения заряженных частиц.					
4.1	Моделирование процессов движения заряженных частиц. /Тема/	4	0			
4.2	Уравнения движения в форме Ньютона. Сведение системы дифференциальных уравнений второго порядка к системе уравнений первого порядка. /Лек/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
4.3	Методы численного интегрирования уравнений движения: метод Эйлера, модифицированный метод Эйлера, метод Эйлера-Коши с итерациями, их недостатки; методы Рунге-Кутты, методы Адамса, оценка погрешностей. Рекомендации по выбору методов при расчете ЭП. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет

4.4	/Ср/	4	12		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 5. Модели потоков заряженных частиц.					
5.1	Модели потоков заряженных частиц. /Тема/	4	0			
5.2	Классификация моделей. Модели электронных потоков для расчета статических процессов: двумерные модели в виде нитей, модель трубок тока, объемные модели, трехмерные модели. /Лек/	4	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
5.3	Модели электронного потока для расчета динамических процессов: метод макрочастиц, одномерная дисковая модель, двумерная дисковая модель, дисково-кольцевая модель, метод "опорных частиц", понятие о "контрольных электронах", двумерная и трехмерная модели потока из деформирующихся элементов. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
5.4	/Ср/	4	12		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 6. Методы расчета полей пространственного заряда.					
6.1	Методы расчета полей пространственного заряда. /Тема/	4	0			
6.2	Метод функции Грина для одномерной и многомерной моделей макрочастиц, метод отраженных зарядов, сеточные методы. /Лек/	4	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
6.3	Расчет распределения пространственного заряда в дискретной модели электронного потока в стационарном и нестационарном процессах. /Пр/	4	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Зачет
6.4	/Ср/	4	12		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы")

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)				
6.1. Рекомендуемая литература				
6.1.1. Основная литература				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л1.1	Шуп Т.Е.	Прикладные численные методы в физике и технике	М.:Выш.шк., 1990, 254с.	5-06-001014-7, 1
Л1.2	Буль О.Б.	Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов.Магнитные цепи,поля и программа FEMM : Учеб.пособие для вузов	М.:Академия, 2005, 335с.	5-7695-2064-7, 1
Л1.3	Заварыкин В.М., Житомирский В.Г., Лапчик М.П.	Численные методы : Учеб.пособие для вузов	М.:Просвещение, 1991, 176с.	5-09-000599-0, 1
Л1.4	Вержбицкий В.М.	Основы численных методов : Учеб.	М.:Выш.шк., 2002, 840с.	5-06-004020-8, 1
6.1.2. Дополнительная литература				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Козлов В.Н.	Численные методы решения задач электроники : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2015,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1721
Л2.2	Фефелов А.А.	Методы расчета электрических полей. Методы расчета магнитных полей. Электрическое поле в веществе. Магнитное поле в веществе : учеб. пособие	Рязань, 2013, 48с.	, 1
Л2.3	Самарский А.А., Гулин А.В.	Численные методы математической физики	М.:Науч.мир, 2000, 315с.	5-89176-102-5, 1
Л2.4	Богаченков А. Н.	Компьютерное проектирование и моделирование радиоэлектронных средств : методические указания	Москва: РТУ МИРЭА, 2022, 53 с.	, https://e.lanbook.com/book/240122
6.1.3. Методические разработки				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Фефелов А.А.	Спецглавы физики. Элементы теории. Ч.1. Методы расчета электрических полей. Методы расчета магнитных полей. Электрическое поле в веществе. Магнитное поле в веществе : Учебное пособие	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2013,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/994
6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"				
Э1	Официальный интернет портал РГРТУ [электронный ресурс] http://www.rsreu.ru			
Э2	Образовательный портал РГРТУ [электронный ресурс]. - Режим доступа: по паролю https://edu.rsreu.ru			

Э3	Электронная библиотека РГРТУ [электронный ресурс]. - Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ - по паролю http://elib.rsreu.ru/
Э4	Электронно-библиотечная система IRPbooks [электронный ресурс]. - Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ - свободный, доступ из сети интернет- по паролю https://www.iprbookshop.ru
Э5	Электронно-библиотечная система «Лань» [электронный ресурс]. - Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ - свободный, доступ из сети интернет- по паролю https://e.lanbook.com
6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем	
6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства	
Наименование	Описание
6.3.2 Перечень информационных справочных систем	

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
1	345 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий Специализированная мебель (30 мест без учета места преподавателя); Аудиторная доска

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Дубков Михаил Викторович, Заведующий кафедрой ОиЭФ	19.06.24 09:45 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Дубков Михаил Викторович, Заведующий кафедрой ОиЭФ	19.06.24 09:45 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО НАЧАЛЬНИКОМ ОА	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Нефедова Елена Евгеньевна, Начальник отдела аспирантуры	19.06.24 14:26 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ПРОРЕКТОРОМ ПО УР	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Гусев Сергей Игоревич, Проректор по научной работе и инновациям	19.06.24 15:47 (MSK)	Простая подпись