

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

А.В. Дворкович

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Прикладная электродинамика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.П. Скобелев, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры радиофизики и технической кибернетики 09.04.2020

Аннотация

Курс лекций рассчитан на два семестра. На лекциях первого семестра последовательно рассматриваются уравнения Максвелла, включая материальные уравнения и граничные условия; волны в безграничной однородной среде, включая плоские цилиндрические и сферические волны; электромагнитные поля, излучаемые заданными источниками, с использованием векторного и скалярного потенциалов с их последующим представлением через функцию Грина; основные теоремы, включая теоремы Умова-Пойнтинга, взаимности, эквивалентности и единственности. Затем рассматривается постановка граничной задачи электродинамики и примеры решения задачи прохождения плоской волны через границу плоскую раздела двух сред и задачи определения собственных волн в прямоугольном, круглом и коаксиальном волноводах.

Во втором семестре рассматриваются основные методы решения задач электродинамики, включая аналитические методы, примененные к задачам рассеяния на цилиндре и сфере, и численные методы, включая методы интегральных уравнений, метод вспомогательных источников, метод проекционного сшивания полей на границах частичных областей, метод конечных элементов и гибридный проекционный метод.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение разделов теории электромагнетизма, необходимых для проектирования антенн и устройств СВЧ.

Задачи дисциплины

- освоение основных понятий теории электромагнитного поля;
- освоение основных соотношений и теорем теории электромагнитного поля;
- освоение основных методов решения уравнений теории электромагнитного поля;
- получение представления о современных прикладных проблемах теории электромагнитного поля.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ основные понятия теории электромагнитного поля;
- ☐ основные соотношения и теоремы теории электромагнитного поля;
- ☐ основные методы решения уравнений электромагнитного поля;
- ☐ современные проблемы теории электромагнитного поля.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для построения математических моделей при решении задач теории антенн и СВЧ-устройств;
- ☐ строить алгоритмы решения электродинамических задач;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ основными методами моделирования антенн и устройств СВЧ;
- ☐ навыками самостоятельной работы и Интернете;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Уравнения электромагнитного поля	5			3
2	Квадратичные соотношения в электродинамике	5			3
3	Волновые процессы в безграничной однородной среде	7			3
4	Излучение электромагнитных волн	8			3
5	Граничные задачи электродинамики	5			3
6	Волны в волноводах и периодических структурах	8			10
7	Дифракция электромагнитных волн	16			10
8	Методы решения граничных задач электродинамики	6			10
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Уравнения электромагнитного поля

Электромагнитное поле. Векторы электромагнитного поля. Заряды и токи как источники электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Связь с основными эмпирическими законами электродинамики. Уравнение непрерывности. Закон сохранения заряда. Материальные уравнения. Анизотропные среды. Среда с отрицательными диэлектрической и магнитной проницаемостями (метаматериалы). Распространение уравнений Максвелла на среды с разрывом непрерывности свойств среды. Граничные условия. Уравнения Максвелла для гармонических полей. Комплексные амплитуды векторных и скалярных полей. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд. Симметричная форма уравнений Максвелла. Магнитные заряды и токи. Перестановочная двойственность уравнений Максвелла.

2. Квадратичные соотношения в электродинамике

Теорема Умова-Пойнтинга. Баланс энергии электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных амплитуд. Лемма Лоренца. Теорема взаимности. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для внутренней и внешней задач электродинамики. Условия на бесконечности.

3. Волновые процессы в безграничной однородной среде

Непосредственное сведение уравнений Максвелла к волновому уравнению. Плоские электромагнитные волны. Понятие поляризации. Векторные операции в криволинейных ортогональных системах координат. Электродинамические потенциалы. Векторы Герца. Метод Бромвича. Уравнения для функций Бромвича. Потенциалы Дебая. Потенциалы Абрагама. Принцип поляризационной двойственности. Цилиндрические электромагнитные волны. Сферические электромагнитные волны. Плоские волны в анизотропной среде. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона.

4. Излучение электромагнитных волн

Волны в безграничной среде с заданными источниками. Функция Грина для безграничного пространства. Запаздывающие потенциалы. Электромагнитное поле элементарных источников. Электрический и магнитный диполи Герца. Поле в ограниченной области пространства. Теорема эквивалентности. Векторизованная формула Кирхгофа. Принцип Гюйгенса-Френеля.

5. Граничные задачи электродинамики

Формулировка граничной задачи. Дифракция плоской волны на плоской границе раздела двух сред. Формулы Френеля. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Возбуждение плоского слоя с отрицательными диэлектрической и магнитной проницаемостями.

Семестр: 7 (Осенний)

6. Волны в волноводах и периодических структурах

Волны в регулярных волноводах. Волны электрического и магнитного типов. Формулировка граничной задачи для регулярного волновода и ее решение методом разделения переменных. Общие свойства собственных волн. Волны типа ТЕ и ТМ - условия существования и особенности. Волны в плоском, прямоугольном и круглом волноводах. Волны в коаксиальной линии. Волны в одномерно- и двумерно-периодических структурах. Пространственные гармоники типа ТЕ и ТМ.

7. Дифракция электромагнитных волн

Дифракция на проводящем и диэлектрическом цилиндре. Дифракция на проводящей сфере. Дифракция на щели и ленте. Дифракция на прямоугольном экране и прямоугольном отверстии.

8. Методы решения граничных задач электродинамики

Метод интегральных уравнений. Интегральные уравнения электрического поля. Интегральные уравнения магнитного поля. Метод моментов. Метод вспомогательных источников. Метод проекционного сшивания гармоник. Метод факторизации. Метод конечных элементов. Метод связанных волн.

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

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Ю. В. Пименов, Линейная макроскопическая электродинамика. Долгопрудный: Интеллект, 2008.
2. Б. М. Петров, Электродинамика и распространение радиоволн. 2-е издание. М.: Горячая линия – телеком, 2007.
3. Л. А. Вайнштейн, Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988.

Дополнительная литература

1. Constantine A. Balanis, Advanced engineering electromagnetics. N.Y.: John Wiley & Sons, 1989.
2. Г. Т. Марков, А. Ф. Чаплин, Возбуждение электромагнитных волн. М.: Радио и связь, 1983.
3. В. В. Никольский, Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1978.
4. Sophocles J. Orfanidis, Electromagnetic waves and antennas. Piscataway, NJ: Rutgers University, 2008.
5. А. Ю. Гринев, Численные методы решения прикладных задач электродинамики. М.: Радиотехника, 2012.

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

[Http://www.edu.ru](http://www.edu.ru)
mipt.lectoriy.ru/lecturer/OvchinkinVA/lectures
<http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха.

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

Мультимедийные технологии, презентации PowerPoint.

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

В ходе лекционных занятий студенту рекомендуется вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы способствует успешному освоению содержания дисциплины, которая включает в себя:

- проработку лекций с использованием конспекта и литературой, рекомендуемых данной программой;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам;
- подготовка к дифференцированному зачету и экзамену.

Также студент может дополнить список литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать учебные материалы при написании выпускной квалификационной работы.

Уровень проработки студентам прослушанных лекций контролируется преподавателем на лекционных занятиях. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет
7 (осенний) - Экзамен

Разработчик: С.П. Скобелев, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Прикладная электродинамика» обучающийся должен:

знать:

- ☐ основные понятия теории электромагнитного поля;
- ☐ основные соотношения и теоремы теории электромагнитного поля;
- ☐ основные методы решения уравнений электромагнитного поля;
- ☐ современные проблемы теории электромагнитного поля.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для построения математических моделей при решении задач теории антенн и СВЧ-устройств;
- ☐ строить алгоритмы решения электродинамических задач;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ основными методами моделирования антенн и устройств СВЧ;
- ☐ навыками самостоятельной работы и Интернете;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 6-ом семестре:

1. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Материальные уравнения.
2. Распространение уравнений Максвелла на среды с разрывом непрерывности свойств среды. Граничные условия.
3. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд. Симметричная форма уравнений Максвелла. Перестановочная двойственность уравнений Максвелла.
4. Теорема Умова-Пойнтинга. Баланс энергии электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных амплитуд.
5. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.
6. Непосредственное сведение уравнений Максвелла к волновому уравнению. Плоские электромагнитные волны.
7. Метод Бромвича. Уравнения для функций Бромвича. Потенциалы Дебая. Потенциалы Абрагама.
8. Цилиндрические электромагнитные волны. Сферические электромагнитные волны.
9. Плоские волны в анизотропной среде. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона.
10. Волны в безграничной среде с заданными источниками. Функция Грина для безграничного пространства. Запаздывающие потенциалы.
11. Электромагнитное поле элементарных источников. Электрический и магнитный диполи Герца.
12. Теорема эквивалентности. Векторизованная формула Кирхгофа. Принцип Гюйгенса-Френеля.

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 7-ом семестре:

1. Волны в прямоугольном и круглом волноводах. Волны в коаксиальной линии.
2. Волны в одномерно- и двумерно-периодических структурах.
3. Дифракция на проводящем и диэлектрическом цилиндре.
4. Дифракция на проводящей сфере.
5. Дифракция на щели и ленте.
6. Дифракция на прямоугольном экране.
8. Дифракция на прямоугольном отверстии в экране.
9. Интегральные уравнения электрического и магнитного поля.
10. Метод моментов.
11. Метод вспомогательных источников.
12. Метод проекционного сшивания.
13. Метод конечных элементов.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Дифракция на проводящей сфере.
2. Метод конечных элементов.

Билет 2.

1. Дифракция на прямоугольном экране.
2. Метод проекционного сшивания.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен и дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена и дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.