

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 № 6

Рабочая программа дисциплины

«Электродинамика»

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

Направленность образовательной программы
«Информационные системы и технологии»

Квалификация (степень)
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Электродинамика» относится к обязательным дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы (ООП) высшего профессионального образования (ВПО) по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» на радиофизическом факультете ННГУ.

Дисциплина изучается в 5-ом семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения содержания модулей «Физика» (дисциплины «Физика электромагнитных и оптических явлений») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Векторный и тензорный анализ») из базовой части математического и естественно-научного цикла.

Целями освоения дисциплины являются:

Основной целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с фундаментальными понятиями, принципами и положениями электродинамики, изучение основных законов теории поля, свойств различных сред, закономерностей распространения электромагнитных волн в различных средах, методов расчета полей электромагнитных волн и колебаний.

Освоение дисциплины «Электродинамика» является необходимым базовым образованием для изучения дисциплин «Распространение радиоволн», «Квантовая и оптическая электроника» из профессионального цикла ОПП ВПО, которые изучаются в 6-ом и 7-ом семестрах.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<p>ПК-1</p> <p>Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам</p> <p>Этап формирования базовый</p>	<p><u>Знать:</u> фундаментальные понятия, принципы и положения электродинамики, основные законы теории поля, свойства различных сред, закономерности распространения электромагнитных волн в различных средах, методы расчета полей электромагнитных волн и колебаний</p> <p><u>Уметь</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для решения практических задач электродинамики. 2. использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями. <p><u>Владеть</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. навыками обработки и интерпретации данных научных исследований, 2. опытом формирования выводов в ходе научных исследований. 3. опытом использования полученных базовых знаний при решении профессиональных задач

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 82 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (48 часов – занятия лекционного типа, 32 часа – практические занятия, в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 44 часа составляет самостоятельная работа обучающегося, 54 часа – экзамен.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины. форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем),														
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Лекционного Занятия	Очно-заочное	Заочное	Семинарского Занятия	Очно-заочное	Заочное	Лабораторного Занятия	Очно-заочное	Заочное	Всего	Очное	Очно-заочное	Заочное		
Введение	10			2			1						3			7		
Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей	9			2			-						2			7		
Электростатика	39			14			8						22			17		

Постоянные токи	14			2			1					3			11		
Магнитостатика	23			8			4					12			11		
Переменные электромагнитные поля. Общее описание	13			4			-					4			9		
Электродинамика квазистационарных процессов	17			4			4					8			9		
Волны в однородных средах	17			4			4					8			9		
Волны в неоднородных изотропных средах	18			4			5					9			9		
Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде	18			4			5					9			9		
В т.ч. текущий контроль	2						2		2			2			-		
Промежуточная аттестация - Экзамен																	

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Введение

1.1. Основные этапы развития теории электромагнитного поля. Общий характер построения читаемого курса.

1.2. Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий). Скалярные, векторные и тензорные величины. Дифференциальные операции первого и второго порядков. Дифференциально-векторные тождества. Интегральные теоремы. Криволинейные системы координат.

Раздел 2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей

2.1. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Понятие напряженностей электрического и магнитного полей, плотностей тока и заряда. Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими (выражения для плотности энергии поля и силы Лоренца). Пределы применимости уравнений классической электродинамики.

2.2. Макроскопические уравнения Максвелла (в дифференциальной и интегральной формах) для поля в материальной среде как результат усреднения микроскопических уравнений классической электронной теории. Понятие векторов средних макроскопических напряженностей электрического и магнитного полей, электрической и магнитной поляризации и индукции.

2.3. Материальные уравнения для различных сред. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Сторонние источники. Понятие временной и пространственной дисперсии. Ток и поляризация как результат воздействия полей на среду и как источник этих полей.

2.4. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент векторов поля на произвольной поверхности. Понятие поверхностных зарядов и токов.

2.5. Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.

2.6. Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Плотность электромагнитной энергии в среде без дисперсии. Джоулевы потери. Закон сохранения импульса. Понятие плотности электромагнитного импульса и тензора натяжений для поля в вакууме.

2.7. Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

2.8. Классификация основных типов электромагнитных явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

Раздел 3. Электростатика

3.1. Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков.

3.2. Некоторые общие теоремы электростатики. Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.

3.3. Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент.

3.4. Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).

а) Конструктивные методы: металлизация эквипотенциальных поверхностей; метод изображений; метод заполнения диэлектриком.

б) Метод разделения переменных. Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле.

в) Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.

3.5. Обратная задача электростатики.

3.6. Дискретное описание электростатических систем. Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и емкостных коэффициентов. Понятие емкости. Электростатические цепи.

3.7. Энергия электростатического поля. Представление в виде интеграла по области источников. Собственная и взаимная энергия различных подсистем. Энергия взаимодействия внешнего поля с точечным зарядом и точечным диполем. Энергия системы проводников. Теорема Томсона о минимуме электростатической энергии.

3.8. Силы в электростатическом поле. Энергетический метод расчета обобщенных сил. Связь между вариацией энергии и работой сторонних сил в системе проводников с постоянными зарядами или постоянными потенциалами. Силы, действующие на заряд и диполь во внешнем поле; момент сил, действующих на диполь. Плотность силы, действующей на поверхность проводника. Объемная плотность силы в жидком диэлектрике.

Раздел 4. Постоянные токи

Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Понятие идеального электрода и идеального изолятора. Формальная аналогия с электростатикой; примеры ее использования для решения токовых задач. Понятие сопротивления. Закон Джоуля-Ленца. Токи в квазилинейных проводниках. Законы Кирхгофа.

Раздел 5. Магнитостатика

5.1. Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

- 5.2. Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.
- 5.3. Скалярный потенциал магнитного поля. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями как проявление принципа двойственности.
- 5.4. Поля, создаваемые намагниченными телами. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами.
- 5.5. Энергия и силы в магнитном поле. Представление энергии в виде интеграла по области источников. Энергия системы квазилинейных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Сила, действующая на элемент квазилинейного контура с током. Сила и вращающий момент, действующие на магнитный диполь. Плотность объемной силы и тензор натяжений магнитного поля в среде.

Раздел 6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание

- 6.1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электромагнитных полей. Описание с помощью потенциалов. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.
- 6.2. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Комплексная теорема Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.

Раздел 7. Электродинамика квазистационарных процессов

- 7.1. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.
- 7.2. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики. Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.

Раздел 8. Волны в однородных средах

- 8.1. Однородные и неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс (волновое сопротивление). Плотность потока энергии в плоской волне. Плоские волны в поглощающей среде.
- 8.2. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля в такой волне, длина волны, фазовая скорость, поперечный волновой импеданс, плотность потока энергии.
- 8.3. Электромагнитный волновой пучок. Представление в виде суперпозиции однородных плоских волн. Малоугловое (параксиальное) приближение (квазиоптический пучок). Зона геометрической оптики (прожекторная зона). Зона Френеля и диффузионная зона.
- 8.4. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Квазимонохроматические процессы. Энергия монохроматического поля в среде с временной дисперсией. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость и скорость энергии. Диффузионное уравнение для огибающей импульса. Расплывание импульса.

Раздел 9. Волны в неоднородных изотропных средах

- 9.1. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение. Выражение коэффициента отражения через поперечные волновые импедансы. Формула пересчета импеданса. Использование ее для отыскания коэффициента отражения от плоскопараллельной пластинки. Наклонное падение. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.

Раздел 10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде.

10.1. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения.

10.2. Простейшая излучающая система - элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения.

10.3. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Основные характеристики направленности излучающей системы.

4. Образовательные технологии

Для реализации компетентностного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Для самостоятельной работы к каждому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде практических задач. Контроль выполнения самостоятельной работы проводится в рамках каждого практического занятия.

2. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

3. Еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

4. Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Запись основных дифференциальных операций векторного анализа (градиент, дивергенция, ротор, лапласиан) с помощью оператора “набла” и в декартовых координатах.
2. Уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.
3. Граничные условия для тангенциальных и нормальных компонент полей в общем случае.
4. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности) в дифференциальной и интегральной формах.
5. Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга) в дифференциальной и интегральной формах.
6. Уравнение Максвелла в комплексной форме; комплексная диэлектрическая проницаемость.
7. Скин-эффект; толщина скин-слоя (глубина проникновения тока и поля в проводник).
8. Запись выражений для плоской волны в векторной форме и в проекциях на оси декартовой системы координат.
9. Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны.
10. Определение фазовой и групповой скорости.
11. Законы отражения и преломления на плоской границе раздела двух сред (законы Снелля).
12. Формулы Френеля в случае нормального падения.
13. Общее выражение для векторного потенциала заданного распределения произвольных во времени и гармонических токов.
14. Выражение для векторного потенциала заданного распределения гармонических токов в зоне Фраунгофера.

15. Диаграмма направленности излучения (по мощности).

6. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, 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-1: Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	Очень хорошо	отлично	превосходно
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможно оценить полноту знаний из-за отказа от ответа.	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможно оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов.
Навыки	Отсутствие владения материалом. Невозможно оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме экзамена в конце семестра.

Для оценки результатов обучения студентов применяется семибалльная шкала оценивания.

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

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в котором обучающемуся предлагается изложить часть из двух разделов содержания дисциплины.

Для оценивания итогов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи.

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

Пример экзаменационного билета:

Вопрос 1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электрического и магнитного полей.

Вопрос 2. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения при гармонической зависимости от времени. Представление векторного потенциала в виде интеграла по области источников. Условие излучения.

Задача: Найти распределение переменного электрического поля $E(x)e^{i\omega t}$ внутри проводящего плоского слоя толщины a с проводимостью $\sigma \gg \omega$ и магнитной проницаемостью μ . На одной границе слоя ($x=-a$) задана амплитуда тангенциальной компоненты поля $E_y(-a)=E_0$, а на другой границе ($x=0$) лежит идеально проводящий лист. Изобразить графически «моментальные снимки» поля для двух случаев: $a \gg \delta$ и $a \ll \delta$ (δ – толщина скин-слоя в проводнике).

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf.

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Электродинамика».

а) основная литература:

1. [Никольский В. В., Никольская Т. И. - Электродинамика и распространение радиоволн: \[учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов\]. - М.: Наука, 1989. - 543 с. \(8\)](#)
2. [Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. - 440 с. \(1\)](#)
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2005. — 656 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2234> — Загл. с экрана. (4)
4. [Баскаков С. И. - Основы электродинамики: \[учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов\]. - М.: Советское радио, 1973. - 248 с. \(5\)](#)

5. [Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. - Электромагнитные поля и волны. - М.: Советское радио, 1971. - 662 с. \(4\)](#)
6. Тамм, И.Е. Основы теории электричества. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2003. — 616 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2333> — Загл. с экрана. (16)
7. Гильденбург, В.Б. Сборник задач по электродинамике. [Электронный ресурс] / В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 163 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/48209> — Загл. с экрана. (10)

б) дополнительная литература:

1. [Джексон Д. - Классическая электродинамика. - М.: Мир, 1965. - 702 с. \(4\)](#)
2. [Пановский В., Филипс М - Классическая электродинамика. - М.: Физматгиз, 1963. - 432 с. \(4\)](#)
3. Батыгин, В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. [Электронный ресурс] / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 480 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/544> — Загл. с экрана. (1)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ, учебное и учебно-научное лабораторное оборудование в соответствии с программой лабораторного практикума для выполнения обучающимися лабораторных занятий в рамках радиофизического практикума.

Программа составлена в соответствии с Федеральным ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», квалификация - бакалавр.

Автор программы _____ Юрасова Н.В.

Рецензент _____ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. _____ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от 25 мая 2023 № 04/23.