

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
(факультет / институт / филиал)

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

Рабочая программа дисциплины

Электродинамика
(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
Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.22, электродинамика</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> .

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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**	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики.	Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук	Собеседование, задача
	ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач.	Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук и использовать их в профессиональной деятельности	
	ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.	Владеть: навыками получения базовых знаний в области математики и естественных наук, и их использования в профессиональной деятельности	
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные	ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки	Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного	Собеседование, задача, задания

исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	результатов.	приобретения новых знаний	
	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы.	Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	
	ОПК-3.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов.	Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий	

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа	
(практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	37
КСР	2

Промежуточная аттестация – экзамен	45
---	-----------

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение	5	2	2		4	1
Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей	8	6			6	2
Электростатика	32	18	10		28	4
Постоянные токи	8	2	2		4	4
Магнитостатика	14	6	3		9	5
Переменные электромагнитные поля. Общее описание	10	6			6	4
Электродинамика квазистационарных процессов	11	4	3		7	4
Волны в однородных средах	13	6	3		9	4
Волны в неоднородных изотропных средах	13	6	3		9	4
Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде	19	8	6		14	5
В т. ч. текущий контроль	2		2		2	
Промежуточная аттестация – экзамен						
		45				

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.

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

1. Виды самостоятельной работы:

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде практических задач.
- еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия.

- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости.

- 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. Поле элементарного электрического диполя в квазистатической зоне.
16. Поле элементарного электрического диполя в волновой зоне.
17. Диаграмма направленности излучения (по мощности).

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность 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 незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных

	вследствие отказа обучающегося от ответа	навыки. Имели место грубые ошибки.	стандартных задач с некоторыми недочетами	задач с некоторыми недочетами	задач без ошибок и недочетов.	ошибок и недочетов.	ых задач
--	--	---	---	-------------------------------	-------------------------------	---------------------	----------

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электрического и магнитного полей.	ОПК-1
2. Описание переменного электромагнитного поля с помощью скалярного и векторного потенциалов. Градиентная	ОПК-1

инвариантность. Условие калибровки Лоренца.	
3. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.	ОПК-1
4. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами.	ОПК-1
5. Комплексная теорема Пойнтинга.	ОПК-1
6. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.	ОПК-1
7. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект.	ОПК-1
8. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.	ОПК-1
9. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики.	ОПК-1
10. Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.	ОПК-1
11. Однородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ОПК-2
12. Неоднородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде (волны с комплексным волновым вектором). Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, поперечный характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ОПК-2
13. Плоские волны в поглощающей изотропной среде. Выражение для комплексного волнового числа при наличии поглощения.	ОПК-2
14. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля, длина волны, фазовая скорость, поперечный характеристический импеданс, плотность потока энергии.	ОПК-2
15. Конструирование поля в волноводе из однородных плоских	ОПК-2

волн (на примере волн типа ТЕ прямоугольного волновода).	
16. Представление поля электромагнитного волнового пучка в виде суперпозиции однородных плоских волн. Квазиоптический пучок. Зона геометрической оптики. Зона Френеля и диффузионная зона.	ОПК-2
17. Уравнение поперечной диффузии (параболическое уравнение) для амплитуды волнового пучка и его решение.	ОПК-2
18. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Мощность джоулевых потерь в среде с временной дисперсией.	ОПК-2
19. Квазимонохроматические процессы. Энергия поля в среде с временной дисперсией.	ОПК-2
20. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость.	ОПК-2
21. Диффузионное уравнение для огибающей импульса в среде с временной дисперсией. Расплывание импульса при распространении.	ОПК-2
22. Нормальное падение плоской волны на плоскую границу раздела двух сред. Выражения для коэффициентов отражения и прохождения.	ОПК-2
23. Формула пересчета импеданса. Коэффициент отражения от плоскопараллельной пластины.	ОПК-2
24. Законы отражения и преломления плоских волн на плоской границе раздела двух однородных сред (закон Снелля).	ОПК-2
25. Наклонное падение плоских волн на плоскую границу раздела двух сред. Выражения коэффициентов отражения и прохождения через поперечные волновые импедансы (формулы Френеля).	ОПК-2
26. Эффект Брюстера. Угол Брюстера.	ОПК-2
27. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении.	ОПК-2
28. Уравнения, описывающие волны ТЕ-типа в плоскостой среде с плавно меняющимися параметрами. ВКБ приближение.	ОПК-2
29. Функция Грина неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени.	ОПК-1

30. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения при гармонической зависимости от времени. Представление векторного потенциала в виде интеграла по области источников. Условие излучения.	ОПК-1
31. Общее решение неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников.	ОПК-1
32. Элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения. Структура поля в квазистатической и волновой зонах.	ОПК-1
33. Диаграмма направленности излучения по мощности. Сопротивление излучения. Выражения для диаграммы направленности, полной мощности излучения и сопротивления излучения элементарного электрического вибратора.	ОПК-1
34. Элементарный магнитный диполь. Структура поля в волновой зоне, диаграмма направленности и полная мощность излучения. Сопротивление излучения кругового витка малых электрических размеров.	ОПК-1
35. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения.	ОПК-1
36. Основные характеристики направленности излучающей системы (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Общее выражение для диаграммы направленности излучения произвольной системы гармонических токов.	ОПК-1

5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Материальные уравнения для линейной изотропной среды без дисперсии записываются в виде	а) $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}, \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ б) $\mathbf{D} = \mu \mathbf{E}, \mathbf{B} = \varepsilon \mathbf{H}$	в) $\mathbf{E} = \varepsilon \mathbf{D}, \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ г) $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}, \mathbf{H} = \mu \mathbf{B}$
2. Связь скалярного потенциала с напряженностью электростатического поля имеет вид	а) $E = \varepsilon \nabla \varphi$ б) $E = -\varepsilon \nabla \varphi$	в) $E = \nabla \varphi$ г) $E = -\nabla \varphi$
3. Уравнение непрерывности в дифференциальной форме записывается в виде	а) $\operatorname{div} \mathbf{D} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ б) $\operatorname{div} \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$	в) $\operatorname{div} \mathbf{j} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ г) $\operatorname{div} \mathbf{D} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 1.

Какими источниками создается в пустоте следующее одномерное распределение потенциала?

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \text{ и } x > x_2; \\ Cx, & \text{при } 0 < x < x_1; \\ Cx_1, & \text{при } x_1 < x < x_2, \end{cases}$$

C - константа; x - декартова координата.

Построить качественно графики зависимости потенциала, проекции поля E_x от x .

5.2.4. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задача 2.

Поверхностный заряд распределен равномерно с плотностью σ по площади круга радиуса a , лежащего в плоскости xy . Центр круга совпадает с началом координат. Найти потенциал и электрическое поле на оси z .

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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. – 155 экз.
2. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. – 440 с. – 225 экз.
3. Баскаков С. И. - Основы электродинамики: [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М.: Советское радио, 1973. - 248 с. – 20 экз.
4. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. - Электромагнитные поля и волны. - М.: Советское радио, 1971. - 662 с. – 25 экз.
5. 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.
6. Гильденбург, В.Б. Сборник задач по электродинамике. [Электронный ресурс] / В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2001. — <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922101137.html>

б) дополнительная литература:

1. Джексон Д. - Классическая электродинамика. - М.: Мир, 1965. - 702 с. – 23 экз.
2. 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. — 40 экз.
3. Терлецкий Я. П., Рыбаков Ю. П. - Электродинамика: [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Высшая школа, 1980. – 335 с. – 13 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор (ы) Кудрин А.В.

Заведующий кафедрой Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.