

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Электродинамика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.22 Электродинамика относится к обязательной части образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
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 ОПК-1.2: Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач ОПК-1.3: Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1: Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук и использовать их в профессиональной деятельности Владеть: навыками получения базовых знаний в области математики и естественных наук, и их использования в профессиональной деятельности ОПК-1.2: Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук и использовать их в профессиональной деятельности Владеть: навыками получения базовых знаний в области математики и естественных наук, и их использования в профессиональной деятельности	Задачи	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

		<p>деятельности</p> <p>ОПК-1.3: Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук</p> <p>Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук и использовать их в профессиональной деятельности</p> <p>Владеть: навыками получения базовых знаний в области математики и естественных наук, и их использования в профессиональной деятельности</p>		
<p>ОПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;</p>	<p>ОПК-2.1: Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов</p> <p>ОПК-2.2: Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы</p> <p>ОПК-2.3: Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов</p>	<p>ОПК-2.1: Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного приобретения новых знаний</p> <p>Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии</p> <p>Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий</p> <p>ОПК-2.2: Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного приобретения новых знаний</p> <p>Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии</p> <p>Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний с</p>	<p>Задания</p> <p>Задачи</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

		<p>использованием современных образовательных и информационных технологий</p> <p>ОПК-2.3: Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного приобретения новых знаний Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	37
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	

			(практические занятия/лабораторные работы), часы		
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение	5	2	2	4	1
Тема 2. Основные уравнения макроскопической электродинамики и общие свойства электромагнитных полей	8	6		6	2
Тема 3. Электростатика	32	18	10	28	4
Тема 4. Постоянные токи	8	2	2	4	4
Тема 5. Магнитостатика	14	6	3	9	5
Тема 6. Переменные электромагнитные поля. Общее описание	10	6		6	4
Тема 7. Электродинамика квазистационарных процессов	11	4	3	7	4
Тема 8. Волны в однородных средах	13	6	3	9	4
Тема 9. Волны в неоднородных изотропных средах	13	6	3	9	4
Тема 10. Излучение заданных источников в безграничной однородной изотропной среде	19	8	6	14	5
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	180	64	32	98	37

Содержание разделов и тем 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.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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 текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Задача 1.

Какими источниками создается в пустоте следующее одномерное распределение потенциала?

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

C - константа; x - декартова координата.

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

Задача 2.

Какими источниками создается в пустоте следующее трехмерное распределение потенциала $\phi(r, \theta)$? (r - модуль радиус-вектора, θ - полярный угол, образуемый радиус-вектором с осью z; C, α - константы):

$$\phi(r, \theta) = C r^{(-1)} \exp(-\alpha r).$$

Задача 3.

Заряд q распределен равномерно по длине окружности радиуса a, лежащей на плоскости x_y . Центр окружности совпадает с началом координат. Найти потенциал $\phi(z)$ и электрическое поле $E_z(z)$ на оси z. Определить, в какой точке на оси поле имеет максимум и найти значения поля и потенциала в этой точке.

Задача 4.

Найти разность потенциалов $U = \varphi_1 - \varphi_2$ между двумя незаряженными проводящими концентрическими сферами, создаваемую точечным зарядом q , расположенным на расстоянии b от центра. Радиусы сфер r_1 и r_2 . Рассмотреть случаи: 1) $b < r_1 < r_2$; 2) $r_1 < b < r_2$; 3) $r_1 < r_2 < b$.

Задача 5.

Точечный заряд q находится на расстоянии r от центра O сферической диэлектрической оболочки с проницаемостью ϵ ; внутренний и внешний радиусы оболочки - a и b . Найти потенциал $\varphi(O)$ в центре оболочки. Рассмотреть три случая:

1) $r > b$; 2) $a < r < b$; 3) $r < a$.

Задача 6.

Найти распределение плотности заряда Ω по поверхности проводящей сферы радиуса a , внесенной во внешнее однородное поле E_0 .

Задача 7.

Через границу раздела сред с различными значениями проводимости (σ_1, σ_2) и диэлектрической проницаемости (ϵ_1, ϵ_2) течет ток с нормальной компонентой плотности j_n . Найти плотность поверхностного заряда Ω на границе.

Задача 8.

Идеальный сферический электрод радиуса a погружен наполовину в электролит с проводимостью σ . Найти сопротивление электролита между электродом и бесконечностью R и распределение тока в нем j .

Задача 9.

Найти магнитное поле H , создаваемое током с плотностью $j = j_0 \exp(-\alpha r^2)$, где r - расстояние до оси, α - константа.

Задача 10.

Найти магнитное поле H и векторный потенциал A , создаваемые током, текущим с постоянной поверхностной плотностью i по поверхности бесконечного цилиндра радиуса a в направлении:

- а) вдоль образующей цилиндра;
- б) перпендикулярно образующей;
- в) под углом α к образующей.

Задача 11.

Найти коэффициент самоиндукции L плоского квазилинейного контура, имеющего плоскость симметрии, совмещенную с границей раздела сред с различными магнитными проницаемостями μ_1 и μ_2 (плоскость контура перпендикулярна границе раздела). Коэффициент самоиндукции этого же контура в вакууме L_0 .

Задача 12.

Найти энергию W и силу F взаимодействия точечного заряда q со следующими телами:

- а) с бесконечной проводящей плоскостью; расстояние от плоскости до заряда h ;
- б) с заземленным проводящим шаром радиуса a ; расстояние от заряда до центра шара b ;
- в) то же, что б), но шар изолирован и не заряжен.

Источник: 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.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Задача 1.

Каким источником создается в пустоте следующее двумерное распределение потенциала φ :

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} C(x^2 - y^2) \text{ при } |x^2 - y^2| < a^2; \\ Ca^2 \text{ при } x^2 - y^2 > a^2; \\ -Ca^2 \text{ при } y^2 - x^2 > a^2, \end{cases}$$

C, a — константы; x, y — декартовы координаты. Найти электрическое поле E и нарисовать картину силовых линий.

Задача 2.

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

Задача 3.

Двугранный угол θ_0 образован двумя заряженными идеально проводящими полуплоскостями, имеющими одинаковый потенциал $\varphi = 0$. Получить и исследовать выражения для потенциала и поля во внутренней и внешней областях угла, которые при $\theta_0 = \pi$ переходят в соответствующие выражения для равномерно заряженной плоскости.

Задача 4.

Плоский конденсатор образован двумя одинаковыми прямоугольными пластинами с размерами a и b и расстоянием между ними d . Пространство между пластинами заполнено неоднородным диэлектриком. Найти емкость конденсатора, пренебрегая краевым эффектом, для случаев, когда зависимость диэлектрической проницаемости ϵ от координат задана в виде:

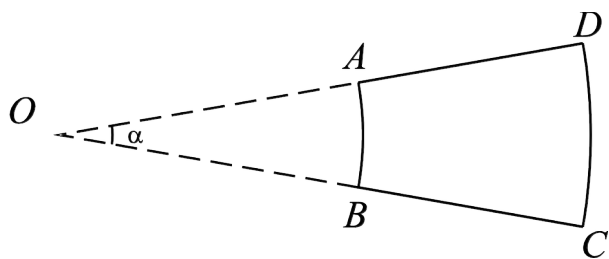
1) $\epsilon = \epsilon(x)$; 2) $\epsilon = \epsilon(y)$ (ось x параллельна одной из сторон пластин, ось y перпендикулярна пластинам).

Задача 5.

Концы двух тонких проволок касаются горизонтальной поверхности электролита, налитого в широкий и глубокий сосуд. Между ними пропущен ток силы I . Найти плотность тока j в электролите.

Задача 6.

Плоский линейный контур $ABCD$ (см. рис.) образован двумя концентрическими дугами AB и DC с центром в точке O и радиальными отрезками AD и BC . Угловой размер дуг α , их радиусы $OA = r_1$, $OD = r_2$. По контуру течет ток силы I . Найти магнитное поле в точке O и на больших расстояниях от этой точки $r \gg r_2$ в плоскости контура.



Задача 7.

Найти магнитное поле тонкого прямого провода, лежащего на плоской границе раздела сред с проницаемостями μ_1 и μ_2 . Сила тока в проводе I .

Задача 8.

Найти коэффициент самоиндукции L 1 единицы длины коаксиальной линии, образованной сплошным цилиндрическим проводником радиуса a , вложенным внутрь тонкостенной проводящей трубы радиуса $b > a$. По сечению центрального проводника ток распределен равномерно.

Источник: 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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

Оценка	Критерии оценивания
	<p>программой ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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»</p>
не зачтено	<p>Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»</p>

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите один (правильный по Вашему мнению) ответ из четырех предлагаемых Вам вариантов:

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) $\mathbf{E} = \varepsilon \nabla \varphi$ б) $\mathbf{E} = -\varepsilon \nabla \varphi$	в) $\mathbf{E} = \nabla \varphi$ г) $\mathbf{E} = -\nabla \varphi$
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) $\operatorname{div} \mathbf{D} - \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
4. Связь векторного потенциала с индукцией магнитного поля имеет вид	а) $\mathbf{B} = \mu \operatorname{rot} \mathbf{A}$ б) $\mathbf{B} = -\operatorname{rot} \mathbf{A}$	в) $\mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$ г) $\mathbf{B} = -\mu \operatorname{rot} \mathbf{A}$
5. Дисперсионное уравнение для однородной плоской волны записывается в виде	а) $k = \frac{\omega}{c\sqrt{\varepsilon\mu}}$ б) $k = \frac{c}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}$	в) $k = \frac{c}{\omega}\sqrt{\varepsilon\mu}$ г) $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu}$
6. Фазовая скорость однородной плоской волны имеет вид	а) $V_\Phi = \frac{\omega}{k\sqrt{\varepsilon\mu}}$ б) $V_\Phi = \frac{\omega}{k}$	в) $V_\Phi = \frac{k}{\omega}$ г) $V_\Phi = \frac{k}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}$

7. Толщина скин-слоя определяется формулой	а) $\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$ б) $\delta = \sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}$	в) $\delta = \frac{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}{c}$ г) $\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$
--	--	--

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна

Оценка	Критерии оценивания
	компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 и несущественными 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 базовых	При решении стандартных	Имеется минимальн	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрированы

	навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстриро ваны базовые навыки. Имели место грубые ошибки	ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач без ошибок и недочетов	навыки при решении нестандарт ных задач без ошибок и недочетов	творческий подход к решению нестандартны х задач
--	--	---	--	---	--	---	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 1.

Найти распределение переменного электрического поля $E(x)e^{i\omega t}$ внутри проводящего плоского слоя толщины $2a$ с проводимостью $\sigma \gg \omega$ и магнитной проницаемостью μ . На границах слоя ($x=\pm a$) задана амплитуда тангенциальной компоненты поля: $E_y(-a)=E_y(a)=E_0$. Изобразить графически «моментальные снимки» поля для двух случаев: а) $a \gg \delta$ и б) $a \ll \delta$ (δ – толщина скин-слоя в проводнике).

Задача 2.

Найти распределение переменного магнитного поля $H_z(x)e^{i\omega t}$ внутри проводящего плоского слоя толщины $2a$ с проводимостью $\sigma \gg \omega$ и магнитной проницаемостью μ . На границах слоя ($x=\pm a$) задана амплитуда тангенциальной компоненты поля: $E_y(-a)=E_y(a)=E_0$. Выразить поверхностный импеданс $\zeta_s = E_y/H_z$ на границах слоя через μ и комплексную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_s = -i4\pi\sigma/\omega$.

Задача 3.

Плоский конденсатор с круглыми пластинами подключен к источнику переменного напряжения $U=U_0\sin(\omega t)$. Найти магнитное поле внутри конденсатора H при условии $d \ll a \ll c/\omega$, где d – расстояние между пластинами, a – радиус пластин, c – скорость света.

Задача 4.

Вектор электрического поля гармонической плоской однородной волны задан в комплексной форме $E = E_0 e^{i(\omega t - kr)}$. Векторы E_0 и k лежат в плоскости xz .

1) Записать комплексные и действительные выражения для проекций электрического и магнитного полей на направления x , y , z (выражения должны содержать явные зависимости от переменных x , y , z , t и параметров $|E_0|$, ω , k_x , k_z , ϵ , μ).

2) Определить пространственные периоды поля λ_x , λ_z по осям x и z и скорости $v_\phi(x)$, $v_\phi(z)$, с которыми перемещаются вдоль осей x , z точки пересечения фазового фронта с этими осями, если заданы: частота ω , диэлектрическая и магнитная проницаемости среды ϵ , μ и угол α между вектором k и осью z .

3) Построить графики зависимости поля от координат x , z для различных значений угла α между k и осью z .

Задача 5.

Вектор электрического поля гармонической плоской однородной волны задан в комплексной форме $E = E_0 e^{i(\omega t - kr)}$. Векторы E_0 и k лежат в плоскости xz . Определить пространственный период поля λ_x по оси x , если заданы частота ω , диэлектрическая и магнитная проницаемости среды ϵ , μ и пространственный период поля λ_z по оси z .

Задача 6.

Вектор электрического поля гармонической плоской однородной волны задан в комплексной форме $E = E_0 e^{i(\omega t - kr)}$. Векторы E_0 и k лежат в плоскости xz . Определить частоту ω , если заданы диэлектрическая и магнитная проницаемости среды ϵ , μ , пространственный период поля λ_x по оси x и скорость $v_\phi(z)$, с которой перемещается вдоль оси z точка пересечения фазового фронта с этой осью.

Задача 7.

Волновой вектор k плоской однородной волны направлен под углом α к оси z . Среда имеет проницаемости ϵ и μ . Найти поперечные (по отношению к оси z) характеристические импедансы волны ζ^\perp , связывающие поперечные компоненты полей соотношением $E^\perp = \zeta^\perp [H^\perp - z_0]$, для поляризаций типа ТЕ ($E_z=0$) и ТЕМ ($E_z=H_z=0$).

Задача 8.

Волновой вектор k плоской однородной волны направлен под углом α к оси z . Среда имеет проницаемости ϵ и μ . Найти поперечные (по отношению к оси z) характеристические импедансы волны ζ^\perp , связывающие поперечные компоненты полей соотношением $E^\perp = \zeta^\perp [H^\perp - z0]$, для поляризаций типа ТМ ($H_z=0$) и ТЕМ ($E_z=H_z=0$).

Задача 9.

Найти комплексную диэлектрическую проницаемость среды $\epsilon_s = \epsilon_r + i\epsilon_i$, если ее магнитная проницаемость $\mu=1$ и если для распространяющейся в данной среде плоской волны известны:

а) ее частота ω , скорость v перемещения волнового фронта, на котором поле равно нулю, и расстояние L , на котором амплитуда убывает в e раз;

б) сдвиг фаз между электрическим и магнитным полями ϕ и отношение их амплитуд $|E_0|/|H_0| = \rho$.

Задача 10.

Получить выражения для полей E и H стоячей волны. Чему равен сдвиг фаз ϕ между полями? Изобразить «моментальные снимки» полей в различные моменты времени.

Задача 11.

Плоская волна с вектором электрического поля $E(i) = x_0 E_0 e^{i(\omega t - kz)}$ падает в среде с проницаемостями ϵ и μ , занимающей область $z < 0$, на плоскость $z=0$ с заданным поверхностным импедансом $\zeta_s = E_x(0)/H_y(0)$. Найти коэффициент отражения волны Γ . Определить импеданс суммарного поля падающей и отраженной волн на расстоянии L от границы: $\zeta(-L) = (E_x/H_y)|_{z=-L}$.

Задача 12.

Плоская волна с вектором электрического поля $E(i) = x_0 E_0 e^{i(\omega t - kz)}$ падает в среде с проницаемостями ϵ и μ , занимающей область $z < 0$, на плоскость $z=0$ с заданным поверхностным импедансом $\zeta_s = E_x(0)/H_y(0)$. Найти коэффициент отражения волны Γ . Найти функцию $|E(z)|^2$ и определить коэффициент стоячей волны КСВ. Что можно сказать об импедансе ζ_s при КСВ=1 и при КСВ= ∞ ?

Задача 13.

Излучение источника распределено равномерно внутри сектора углов $-\alpha < \phi < \alpha$, $\pi/2 - \beta < \theta < \pi/2 + \beta$ (θ и ϕ – полярный и азимутальный углы в сферической системе координат). Найти амплитуду электрического поля в дальней зоне на расстоянии R от источника, если излучаемая им мощность равна P .

Источник: 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.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задача 1.

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).

Задача 2.

Бесконечный соленоид с числом витков в обмотке на единицу длины n питается переменным током $I=I_0 \sin(\omega t)$. Найти электрическое поле E внутри соленоида при условии $a \ll c/\omega$ (a – радиус соленоида).

Задача 3.

Выразить амплитуды электрического и магнитного полей гармонической плоской однородной волны E_0 и H_0 в среде с проницаемостями ϵ и μ через среднюю за период плотность потока энергии S .

Задача 4.

Найти магнитное поле H неоднородной плоской волны в среде с проницаемостями ϵ и μ , если электрическое поле волны задано в виде $E = y_0 E_0 \exp(i(\omega t - hz) - kx)$. Каким образом связаны между собой параметры ω , h , k , ϵ , μ ? Изобразить «моментальные снимки» полей в различные моменты времени.

Задача 5.

Получить выражение для коэффициента отражения Γ плоской волны от плоского слоя толщины d с диэлектрической и магнитной проницаемостями ϵ и μ , разделяющего среды 1 и 2 с проницаемостями ϵ_1 , μ_1 и ϵ_2 , μ_2 . Волна падает на слой по нормали из среды 1. Найти условия, при которых $\Gamma=0$, для случаев, когда среды 1 и 2 одинаковы.

Задача 6.

Получить выражение для коэффициента отражения Γ плоской волны от плоского слоя толщины d с диэлектрической и магнитной проницаемостями ϵ и μ , разделяющего среды 1 и 2 с проницаемостями ϵ_1 , μ_1 и ϵ_2 , μ_2 . Волна падает на слой по нормали из среды 1. Найти условия, при которых $\Gamma=0$, для случаев, когда среды 1 и 2 различны.

Задача 7.

Вдоль оси z течет переменный линейный ток $Ie^{i\omega t}$, амплитуда которого одинакова ($I=\text{const} \neq 0$) во всех точках отрезка $|z| \leq L$ и равна нулю вне этого отрезка. Получить выражения для векторного потенциала A и полей E , H в дальней зоне. Исследовать и построить в полярных координатах диаграмму направленности излучения по мощности $D(\theta)$ для случаев $kL \ll 1$ и $kL \gg 1$ (θ – сферический полярный угол).

Источник: 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
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
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»
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»

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Дифференциальные уравнения второго порядка для электрического и магнитного полей.
2. Описание переменного электромагнитного поля с помощью скалярного и векторного потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца.
3. Волновые уравнения для потенциалов. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.
4. Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами.

5. Комплексная теорема Пойнтинга.
6. Теорема единственности решения уравнений Максвелла для гармонических полей.
7. Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект.
8. Граничные условия Леонтовича. Энергетические соотношения при скин-эффекте.
9. Квазистационарные процессы в квазилинейных цепях с сосредоточенными параметрами. Возможность пренебрежения запаздыванием передачи взаимодействия и выделение зоны квазистатики.
10. Законы Кирхгофа для цепей с переменными токами.
11. Функция Грина неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени.
12. Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения при гармонической зависимости от времени. Представление векторного потенциала в виде интеграла по области источников. Условие излучения.
13. Общее решение неоднородного волнового уравнения при произвольной зависимости от времени. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников.
14. Элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения. Структура поля в квазистатической и волновой зонах.
15. Диаграмма направленности излучения по мощности. Сопротивление излучения. Выражения для диаграммы направленности, полной мощности излучения и сопротивления излучения элементарного электрического вибратора.
16. Элементарный магнитный диполь. Структура поля в волновой зоне, диаграмма направленности и полная мощность излучения. Сопротивление излучения кругового витка малых электрических размеров.
17. Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения.
18. Основные характеристики направленности излучающей системы (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Общее выражение для диаграммы направленности излучения произвольной системы гармонических токов.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Однородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Дисперсионное соотношение. Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс, плотность потока энергии.
2. 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.

3. Плоские волны в поглощающей изотропной среде. Выражение для комплексного волнового числа при наличии поглощения.
4. Неоднородная плоская волна как суперпозиция двух однородных плоских волн. Поляризация поля, длина волны, фазовая скорость, поперечный характеристический импеданс, плотность потока энергии.
5. Конструирование поля в волноводе из однородных плоских волн (на примере волн типа ТЕ прямоугольного волновода).
6. Представление поля электромагнитного волнового пучка в виде суперпозиции однородных плоских волн. Квазиоптический пучок. Зона геометрической оптики. Зона Френеля и диффузионная зона.
7. Уравнение поперечной диффузии (параболическое уравнение) для амплитуды волнового пучка и его решение.
8. Изотропные среды с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Мощность джоулевых потерь в среде с временной дисперсией.
9. Квазимонохроматические процессы. Энергия поля в среде с временной дисперсией.
10. Распространение импульсного сигнала в среде с временной дисперсией. Групповая скорость.
11. Диффузионное уравнение для огибающей импульса в среде с временной дисперсией. Расплывание импульса при распространении.
12. Нормальное падение плоской волны на плоскую границу раздела двух сред. Выражения для коэффициентов отражения и прохождения.
13. Формула пересчета импеданса. Коэффициент отражения от плоскопараллельной пластины.
14. Законы отражения и преломления плоских волн на плоской границе раздела двух однородных сред (закон Снелля).
15. Наклонное падение плоских волн на плоскую границу раздела двух сред. Выражения коэффициентов отражения и прохождения через поперечные волновые импедансы (формулы Френеля).
16. Эффект Брюстера. Угол Брюстера.
17. Полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении.
18. Уравнения, описывающие волны ТЕ-типа в плоскостойкой среде с плавно меняющимися параметрами. ВКБ приближение.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим

Оценка	Критерии оценивания
	компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
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»
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»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Никольский Вячеслав Владимирович. Электродинамика и распространение радиоволн : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 543 с. : ил. - ISBN 5-02-014033-3 (в пер.) : 1.60., 155 экз.
2. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
3. Баскаков Святослав Иванович. Основы электродинамики : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М. : Советское радио, 1973. - 248 с. : с черт. - 0.54., 20 экз.
4. Гольдштейн Лев Давидович. Электромагнитные поля и волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Советское радио, 1971. - 662 с. : ил. - 2.25., 25 экз.
5. Тамм Игорь Евгеньевич. Основы теории электричества : Учебное пособие. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2003. - 616 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-0313-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741021&idb=0>.
6. Сборник задач по электродинамике / Гильденбург В.Б., Миллер М.А. - Москва : Физматлит, 2001., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645545&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Джексон Джон. Классическая электродинамика / пер. с англ. Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева ; под ред. Э. Л. Бурштейна. - М. : Мир, 1965. - 702 с. : черт. - 2.95., 23 экз.
2. Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности / Батыгин В. В., Топтыгин И. Н. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 480 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-0921-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799674&idb=0>.
3. Батыгин Владимир Владимирович. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности : учеб. пособие. - Изд. 4-е, перераб. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 480 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0921-1 : 728.20., 40 экз.
4. Терлецкий Яков Петрович. Электродинамика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М. : Высшая школа, 1980. - 335 с. : ил. - 0.95., 13 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.