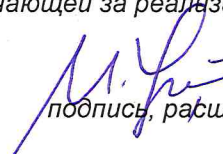


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

. .2024 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.03 – Электродинамика

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 - Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация: “Физика атомного ядра и частиц”

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 - теоретической физики

6. Составители программы Флегель Александр Валерьевич

<u>к.ф.-м.н.</u>	<u>Ф.И.О.</u>
<u>ученая степень</u>	<u>доцент</u>
	<u>ученое звание</u>

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 26.06.2024 г. протокол № 6  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2026-2027

Семестр(ы)/Триместр(ы): 5

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Электродинамика является неотъемлемой частью физического образования. Изучение классической электродинамики позволяет познакомиться с принципами и математическими методами, применяемыми в различных областях физики. Цель курса состоит в изучении законов электромагнитных явлений, освоении математического аппарата классической электродинамики, приобретении навыков решения типовых задач электродинамики. Основными задачами курса являются овладение фундаментальными понятиями и физическими моделями и получение представлений о подходах к постановке и решению конкретных, с учётом особенностей специализации, физических задач.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Входит в модуль "Часть, формируемая участниками образовательных отношений". Изучение дисциплины проводится на базе общих курсов (математический анализ, аналитическая геометрия, линейная алгебра, векторный и тензорный анализ, уравнения математической физики) с учётом требований к уровню подготовки, необходимых для освоения основной образовательной программы. Дисциплина является предшествующей для курсов квантовой теории и специальных курсов.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способность использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области	ПК-1.3	Умение проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований	<p>Знать: основные понятия и законы классической электродинамики вакуума и сплошных сред;</p> <p>Уметь: использовать в профессиональной и научной деятельности математический аппарат классической электродинамики; применять полученные знания об электромагнитных явлениях для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p> <p>Владеть (иметь навык(и)): методами решения типовых задач электродинамики.</p>

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. 3/ 108.

Форма промежуточной аттестации экзамен

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			5 семестр	
Аудиторные занятия		50	50	
в том числе:	лекции	34	34	
	практические	16	16	
	лабораторные			

Самостоятельная работа	22	22	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)	36	36	
Итого:	108	108	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основные уравнения электромагнитного поля в вакууме	Законы электромагнетизма как результат обобщения опытных данных. Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме. Энергия и импульс электромагнитного поля.	–
1.2	Постоянное электрическое поле	Основные уравнения постоянного электрического поля. Поле на больших расстояниях от системы зарядов. Дипольный и квадрупольный моменты. Система зарядов в квазиоднородном внешнем поле.	–
1.3	Постоянное магнитное поле	Уравнения постоянного магнитного поля. Закон Био–Савара–Лапласа. Магнитный момент. Магнитная энергия постоянных токов. Коэффициенты индуктивности. Токи в квазиоднородном магнитном поле. Силы в постоянном магнитном поле.	–
1.4	Излучение и рассеяние электромагнитных волн	Уравнения для электромагнитных потенциалов. Электромагнитные волны. Плоские монохроматические волны. Поляризация волны. Запаздывающие потенциалы. Общая теория излучения. Дипольное излучение. Магнитно-дипольное и квадрупольное излучения. Торможение излучением. Спектральное разложение излучения. Рассеяние электромагнитных волн.	–
1.5	Система уравнений Максвелла в средах	Уравнения электромагнитного поля в поляризующихся и намагничивающихся средах.	–
1.6	Постоянные электрическое и магнитное поля в средах. Постоянный ток в средах	Электростатика проводников. Электростатика диэлектриков. Постоянный ток в проводящих средах. Постоянное магнитное поле в средах.	–
1.7	Квазистационарные токи и поля	Квазистационарное приближение. Система линейных проводников. Скин-эффект.	–
1.8	Электромагнитные волны в средах	Электромагнитные волны в диэлектриках в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Отражение и преломление. Распространение волн в неоднородной среде.	–
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Основные уравнения электромагнитного поля в вакууме	Уравнения Максвелла. Стационарные уравнения Максвелла. Интегральные уравнения.	–
2.2	Постоянное электрическое поле	Система уравнений Максвелла для стационарных электрических полей. Формула Гаусса. Уравнение Пуассона и Лапласа для стационарного потенциала. Метод изображений.	–
2.3	Постоянное магнитное поле	Система уравнений Максвелла для стационарных магнитных полей. Формула Стокса. Уравнение	–

		Пуассона и Лапласа для стационарного векторного потенциала. Закон Био-Савара-Лапласа. Расчет индуктивности. Сила Ампера.	
2.4	Излучение и рассеяние электромагнитных волн	Волновое уравнение. Плоские монохроматические волны. Дипольное излучение. Магнитно-дипольное и квадрупольное излучения. Спектральное разложение излучения. Рассеяние электромагнитных волн.	–
2.5	Система уравнений Максвелла в средах	Уравнения Максвелла в средах. Линейная и нелинейная среды.	–
2.6	Постоянные электрическое и магнитное поля в средах. Постоянный ток в средах	Диэлектрики в постоянном электрическом поле. Пара- и диамагнетики в постоянном магнитном поле.	–
2.7	Квазистационарные токи и поля	Скин-эффект	–
2.8	Электромагнитные волны в средах	Генерация гармоник, самофокусировка.	–

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Основные уравнения электромагнитного поля в вакууме	4	2		2	8
2	Постоянное электрическое поле	4	3		4	11
3	Постоянное магнитное поле	4	3		4	11
4	Излучение и рассеяние электромагнитных волн	6	3		4	13
5	Система уравнений Максвелла в средах	4	1		2	7
6	Постоянные электрическое и магнитное поля в средах. Постоянный ток в средах	4	2		2	8
7	Квазистационарные токи и поля	4	1		2	7
8	Электромагнитные волны в средах	4	1		2	7
	Итого:	34	16		22	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к практическому занятию, разбирая соответствующий теоретический материал, систематически выполнять домашние задания, не пропускать текущие тестирования по пройденному теоретическому и практическому материалу.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

## а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике / А.И. Алексеев. – СПб.: Лань, 2008. – 320 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=100">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=100</a> »

## б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Алтунин К.К. Электродинамика, специальная теория относительности и электродинамика сплошных сред / К.К. Алтунин. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 109 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&amp;id=240549&amp;sr=1">https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&amp;id=240549&amp;sr=1</a> »
3	Бредов М.М. Классическая электродинамика / М.М. Бредов, В.В. Румянцев, И.Н. Топтыгин. – СПб.: Лань, 2003. – 398 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=606">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=606</a> ».
4	Ландау Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2003. – 530 с.
5	Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2003. – 651 с.
6	Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. — Москва : Лань, 2010. — 480 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=544">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=544</a> »
7	Терлецкий Я.П. Электродинамика / Я.П. Терлецкий, Ю.П. Рыбаков. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
8	Запрягаев С.А. Электродинамика / С.А. Запрягаев. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 536 с.
9	Тамм И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. – М.: Наука, 1976. – 620 с.
10	Мармо С.И. Лекции по электродинамике. Часть 1 / С.И. Мармо, А.В. Флегель, М.В. Фролов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – 102 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-03.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-03.pdf</a> ».
11	Мармо С.И. Лекции по электродинамике. Часть 2 / С.И. Мармо, А.В. Флегель, М.В. Фролов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – 114 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-04.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-04.pdf</a> ».
12	Мармо С.И. Задачи по электродинамике. Часть 1 / С.И. Мармо, М.В. Фролов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2014. – 63 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-87.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-87.pdf</a> ».
13	Мармо С.И. Задачи по электродинамике. Часть 1 / С.И. Мармо, М.В. Фролов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2015. – 53с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : « <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-113.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-113.pdf</a> »

## в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
14	<a href="http://www.lib.vsu.ru/">http://www.lib.vsu.ru/</a>
15	<a href="https://biblioclub.lib.vsu.ru/">https://biblioclub.lib.vsu.ru/</a>
16	<a href="https://lanbook.lib.vsu.ru/">https://lanbook.lib.vsu.ru/</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)**

№ п/п	Источник

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

<https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4592>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, электронные средства для представления презентаций.

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1.1-1.8, 2.1-2.8	ПК-1	ПК-1.3	Задачи, выносимые на контрольные работы. Тестовые вопросы.
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов и тестовые вопросы, выносимые на экзамен

**20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

**20.1. Текущий контроль успеваемости**

**Пример задач, выносимых на контрольные работы**

1. В однородное электрическое поле напряженности  $E$  внесли металлическую пластину. Плоскость пластины перпендикулярна направлению электрического поля. Чему равна поверхностная плотность зарядов на разных сторонах пластины?
2. Точечный заряд  $q$  находится на расстоянии  $r$  от центра  $O$  незаряженного сферического проводящего слоя, внутренний и наружный радиус которого равны соответственно  $a$  и  $b$ . Найти потенциал в точке  $O$ , если  $r < a$ .

3. Точечный заряд  $q$  находится на расстоянии  $l$  от безграничной проводящей плоскости. Определить поверхностную плотность зарядов, индуцированных на плоскости, как функцию расстояния  $r$  от перпендикуляра, опущенного из заряда  $q$  на плоскость.
4. Тонкое проводящее кольцо радиуса  $R$ , имеющее заряд  $q$ , расположено параллельно проводящей безграничной плоскости на расстоянии  $l$  от нее. Найти 1) поверхностную плотность заряда, находящуюся в точке плоскости, расположенной симметрично относительно кольца; 2) потенциал электрического поля в центре кольца.
5. Найти потенциал проводящей незаряженной сферы, вне которой на расстоянии  $l$  от ее центра находится точечный заряд  $q$ .
6. Между пластинами коротко замкнутого плоского конденсатора находится металлическая пластина с зарядом  $q$ . Пластины переместили на расстояние  $l$ . Какой заряд прошел при этом по закорачивающему проводнику? Расстояние между пластинами конденсатора  $d$ .
7. Определить поле вокруг проводящего незаряженного шара радиусом  $R$ , находящегося во внешнем однородном электрическом поле  $E$ .
8. Пластина из диэлектрика помещена в однородное электрическое поле так, что её нормаль составляет угол  $\alpha$  с напряженностью электрического поля  $E$ . Найти напряженность поля внутри пластины.
9. Точечный заряд  $q$  находится на плоскости, отделяющей вакуум от безграничного однородного диэлектрика. Найти модуль векторов  $D$  и  $E$  во всем пространстве.
10. Показать, что в однородном диэлектрике, внутри которого нет сторонних зарядов, объемная плотность связанных зарядов равна нулю.
11. Две пересекающиеся под прямым углом бесконечные плоскости делят пространство на четыре области. Чему равна напряженность поля в этих областях, если поверхностная плотность зарядов плоскостей  $\sigma$ ?
12. В бесконечной равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma$  плоскости вырезано круглое отверстие радиусом  $R$ . Определить напряженность электрического поля на оси, перпендикулярной плоскости и проходящей через центр отверстия.
13. Верхняя половина сферы радиусом  $R$  с центром в начале координат равномерно заряжена с поверхностной плотностью  $\sigma$ , нижняя --- с поверхностной плотностью  $-\sigma$ . Найти дипольный момент  $d$  сферы.
14. Два коаксиальных равномерно заряженных тонких кольца с радиусами  $a$  и  $b$  ( $a > b$ ) имеют заряды  $q$  и  $-q$ . Найти дипольный и квадрупольный моменты системы и потенциал  $\varphi$  на оси системы.
15. В цилиндре радиусом  $R_1$  параллельно его оси течет ток с объемной плотностью  $j_1 = \text{const}_1$ . В цилиндрическом слое, охватывающем цилиндр  $R_1$ , с внешним радиусом  $R_2$  протекает постоянный ток  $j_2 = \text{const}_2$  в противоположном направлении. При каком отношении  $j_2 / j_1$  поле вне проводника равно нулю?

16. Ток  $J$  циркулирует в контуре, имеющем форму равнобедренной трапеции. Отношение оснований трапеции  $\eta$ . Найти магнитную индукцию  $B$  в точке  $A$ , в которой пересекаются продолжения боковых сторон. Меньшее основание трапеции равно  $l$ , расстояние от  $A$  до меньшего основания равно  $b$  (достаточно выразить  $B$  через однократный интеграл).
17. По проволоке, согнутой в виде равностороннего треугольника со стороной  $a$ , пропускается ток силы  $J$ . Найти векторный потенциал и магнитную индукцию на большом расстоянии от системы.
18. Шар радиуса  $R$ , заряженный с объемной плотностью  $\rho = \beta r^2$  вращается вокруг своего диаметра с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Найти магнитную индукцию в центре шара.
19. Частица с массой  $m$  и зарядом  $e$  движется в однородном магнитном поле  $B$  по окружности радиусом  $R$ . Найти энергию, теряемую на дипольное излучение за один оборот.
20. Прямоугольная рамка с постоянным линейным током  $J$  вращается вокруг своей диагонали с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Площадь рамки равна  $S$ . Найти интенсивность  $dI$  излучения в телесный угол  $d\Omega$  в среднем по времени за период вращения рамки.
21. Электрон влетает в плоский конденсатор и через некоторое время покидает его в той же точке. Напряженность  $E$  поля в конденсаторе однородна и постоянна, скорость электрона при влете равна  $v$ . Найти спектральное распределение полной энергии  $d\mathcal{E}\omega$  дипольного излучения электрона.

### Примеры вопросов, выносимых на тест

1. Что такое точечный заряд?
2. Напишите закон Кулона.
3. Сформулируйте закон Фарадея.
4. Что такое ток?
5. Напишите систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме.
6. Напишите уравнение Пуассона.
7. Запишите теорему Гаусса.
8. Напишите систему уравнений Максвелла для стационарного магнитного поля.
9. Напишите определение для магнитного момента.
10. Запишите закон Ампера.
11. Напишите волновое уравнение.
12. Напишите выражение для циркулярно поляризованной волны.
13. Напишите выражение для интенсивности дипольного излучения.



14. Напишите выражение для интенсивности магнитно-дипольного излучения в заданном частотном интервале.
15. Напишите сечение рассеяния света на электроны
16. Напишите систему уравнений Максвелла в среде.
17. Чем отличаются пара- и диамагнетики?
18. В чем заключается эффект генерации гармоник средой.
19. Что такое нелинейная поляризуемость?
20. В чем заключается эффект самофокусировки?

## 20.2. Промежуточная аттестация

### Перечень тем, выносимых на экзамен

1. Законы электромагнетизма как следствие экспериментальных данных.
2. Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме.
3. Энергия электромагнитного поля.
4. Импульс электромагнитного поля.
5. Основные уравнения постоянного электрического поля.
6. Энергия электростатического поля.
7. Поле на больших расстояниях от системы зарядов. Дипольный и квадрупольный моменты.
8. Система зарядов в квазиоднородном внешнем поле.
9. Постоянное магнитное поле.
10. Магнитный момент.
11. Магнитная энергия постоянных токов. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
12. Токи в квазиоднородном магнитном поле.
13. Уравнения для электромагнитных потенциалов.
14. Электромагнитные волны.
15. Плоские монохроматические волны.
16. Запаздывающие потенциалы.
17. Дипольное излучение.
18. Квадрупольное и магнитно-дипольное излучения.
19. Спектральное разложение излучения.
20. Торможение излучением.
21. Рассеяние электромагнитных волн.
22. Система уравнений Максвелла в средах.
23. Электростатика проводников.
24. Электростатика диэлектриков.
25. Постоянный ток в проводящих средах.
26. Квазистационарное электромагнитное поле. Скин-эффект.

27. Постоянное магнитное поле в средах
28. Электромагнитные волны в диэлектриках в отсутствие дисперсии
29. Дисперсия диэлектрической проницаемости.
30. Электромагнитные волны в диспергирующих средах.

#### Описание технологии проведения

Экзамен проводится в два этапа: написание теста и устный ответ на экзаменационный билет содержащий два вопроса и практическую задачу.

#### Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка удовлетворительно выставляется обучающемуся, если он успешно сдал тест, написав более 75 процентов теста (тест состоит не более чем из 33 вопросов и проводится в течении 60 минут) и не ответил на экзаменационный билет.

Оценка хорошо выставляется обучающемуся, если он успешно сдал тест, написав более 75 процентов теста (тест состоит не более чем из 33 вопросов и проводится в течении 60 минут и ответил на один экзаменационный вопрос (при условии решенной практической задаче).

Оценка отлично выставляется обучающемуся, если он успешно сдал тест, написав более 75 процентов теста (тест состоит не более чем из 33 вопросов и проводится в течении 60 минут и ответил на два вопроса из экзаменационного билета (при условии решенной практической задаче).