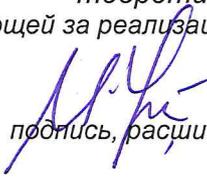


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

. 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.О.27 – Электродинамика

*Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

03.03.03 – Радиофизика

**2. Профиль подготовки/специализация:** Радиофизика и электроника

**3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная (дневная)

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

**6. Составители программы:** Овсянников Виталий Дмитриевич

ФИО

д.ф.-м.н.

профессор

ученая степень

ученое звание

**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:

дисциплина является частью модуля «Теоретическая физика», целью которого является подготовка бакалавров, умеющих грамотно решать практические и теоретические задачи, возникающие, в том числе, и на стыке различных научных направлений.

Цель данной дисциплины – дать студентам глубокое понимание закономерностей электромагнитных явлений.

Задача – научить применять вычислительные методы электродинамики для решения различных прикладных задач, в том числе возникающих в процессе специализированного обучения и при проведении научных исследований в радиофизике. Студент должен овладеть математическим аппаратом классической электродинамики, приобрести навыки практического применения основных уравнений и методов их решения в конкретных задачах и на этой основе получать ясное представление о физической природе электромагнитных явлений, иметь понятие о релятивистских явлениях, четкое представление о границах применимости классической теории и ее вычислительных методов.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к базовой части Б1. Курс знакомит с современными теоретическими методами описания электромагнитных свойств различных систем, содержащих неподвижные и движущиеся заряженные частицы, и с теоретическими подходами к исследованию в них динамических процессов. Студент должен обладать знаниями по дисциплинам «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны, оптика», «Теоретическая механика», владеть основными приемами и методами математической физики.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способность применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.2	Умение оценивать границы применимости и использовать математические модели, необходимые для решения типовых профессиональных задач	<p><b>знать:</b> основные положения и методы классической электродинамики;</p> <p><b>уметь:</b> использовать в практической деятельности знания об основных свойствах объектов электродинамики и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p> <p><b>владеть:</b> (иметь навык(и)): методами исследования электродинамических систем и применять их на практике при</p>
		ОПК-1.3	Владение знаниями фундаментальных разделов физики и применяет их в профессиональной деятельности	

		ОПК-1.5	Владение базовыми знаниями в области физики колебательно-волновых явлений и применяет их в профессиональной деятельности	решении профессиональных задач
--	--	---------	--	--------------------------------

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 5 / 180**

**Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – экзамен.**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы:**

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			5 семестр	
Аудиторные занятия		100	100	
в том числе:	лекции	50	50	
	практические	50	50	
	лабораторные			
Самостоятельная работа		44	44	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (зачет, экзамен – 36 час.)		36	36	
Итого:		180	180	

**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	Дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей	Введение. Заряженные частицы и электромагнитные поля. Графическое представление скалярного и векторного полей. Дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей. Решение уравнения Пуассона. Построение поля по дифференциальным характеристикам	-
1.2	Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме	Закон Кулона и электрическое поле. Электростатический потенциал. Теорема Гаусса. Дифференциальные уравнения электростатического поля. Уравнение непрерывности заряда. Постоянное магнитное поле. Скачок поля на заряженной и токонесущей поверхности. Нестационарные электромагнитные	-

		поля. Закон Фарадея. Ток смещения. Система уравнений Максвелла. Потенциалы поля. Калибровочная инвариантность. Законы сохранения энергии и импульса для системы «заряженные частицы + электромагнитное поле»	
1.3	Электромагнитные поля неподвижных и движущихся зарядов	Мультipoльное разложение поля неподвижных зарядов. Энергия электростатического взаимодействия. Квazистационарное электромагнитное поле. Магнитный момент замкнутого тока. Энергия магнитного поля и магнитное взаимодействие токов. Поле произвольно движущихся зарядов. Запасывающие потенциалы	-
1.4	Теория излучения	Поле дипольного излучателя. Дипольное излучение простейших систем. Электрoквaдрупольное и магнито-дипольное излучение. Поле на близких расстояниях. Реакция излучения. Спектр излучения и естественная ширина излучаемых линий.	-
1.5	Рассеяние и поглощение электромагнитных волн	Плоские электромагнитные волны. Вектор поляризации плоской волны. Рассеяние электромагнитных волн. Поляризуемость системы связанных зарядов. Силы осцилляторов. Поглощение электромагнитного излучения.	-
1.6	Специальная теория относительности. Релятивистские преобразования электромагнитных полей	Преобразование Лоренца для пространства и времени. Преобразования энергии и импульса. Эффект Доплера Потенциалы и напряженности электромагнитных полей. Калибровочная инвариантность. Преобразования Лоренца для потенциалов и напряженностей электромагнитных полей.	-
1.7	Электродинамика сплошных сред	Проводники, диэлектрики, магнетики. Свободный и связанный заряд. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Два класса диэлектриков. Ферроэлектрики. Диа-, пара- и ферромагнетизм. Уравнения Максвелла в среде. Отражение и преломление плоских волн на границе двух сред.	-
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Скалярные и векторные поля	Дифференциальные операции и дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей. Теорема Гаусса-Остроградского. Теорема Стокса.	-
2.2	Поле статических зарядов.	Теорема Гаусса. Дифференциальные уравнения электростатического поля. Поверхностные заряды и уравнения поля на заряженной поверхности. Решение уравнений Лапласа и Пуассона.	-
2.3	Поле в присутствии проводника.	Метод изображений.	-

2.4	Дифференциальные уравнения электростатики	Решение уравнений Лапласа и Пуассона	-
2.5	Магнитостатика	Магнитное поле электрического тока. Уравнение непрерывности заряда. Магнитный момент замкнутого тока.	-
2.6	Переменные поля. Теория излучения	Вихревое электрическое поле. Запаздывающие потенциалы. Дипольное излучение. Радиационное трение. Рассеяние электромагнитных волн	-
2.7	Преобразования Лоренца для координат, времени и электромагнитных полей	Преобразования Лоренца для потенциалов и напряженностей электромагнитных полей.	-
2.8	Электромагнитное поле в сплошной среде	Диэлектрики, проводники, магнетики. Поляризация, проводимость, намагничение.	-

*\*заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейки ставятся прочерки.*

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей	4	4		4	12
2	Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме	8	8		7	23
3	Электромагнитные поля неподвижных и движущихся зарядов	8	8		7	23
4	Теория излучения	8	8		7	23
5	Рассеяние и поглощение электромагнитных волн	8	8		7	23
6	Специальная теория относительности. Релятивистские преобразования электромагнитных полей	6	6		6	18
7	Электродинамика сплошных сред	8	8		6	22
	Итого:	50	50		44	144

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

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Необходимо после каждой лекции 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 интернета, необходимых для освоения дисциплины

(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<u>Детлаф, Андрей Антонович</u> . Курс физики : [учебное пособие для студ. вузов] / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский— Москва : Издательский центр "Академия", 2015 — 719 с
2	<u>Кузовкин, Владимир Александрович</u> . Электротехника и электроника : учебник для академического бакалавриата / Кузовкин, В.В. Филатов ; Моск. гос. технол. ун-т "Станкин" .— Москва : Юрайт, 2016 .— 430 с

б) дополнительная литература:

3	<u>Терлецкий Я.П.</u> Электродинамика / Я.П. Терлецкий, Ю.П. Рыбаков. -- М.: Высш. шк., 1990. -- 351 с.
4	<u>Ландау Л.Д.</u> Теоретическая физика : в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. --М.: Физматлит, 2003. -- Т.2: Теория поля. -- 533 с.
5	<u>Ландау Л.Д.</u> Теоретическая физика : в 10 т. / Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2003. -- Т.8: Электродинамика сплошных сред. -- 651 с.
6	<u>Тамм И.Е.</u> Основы теории электричества / И.Е. Тамм. – М. : Наука, 2003. -- 615 с.
7	<u>Бредов М.М.</u> Классическая электродинамика / М.М. Бредов, В.В. Румянцев, И.Н. Топтыгин. -- СПб. : Лань, 2003. -- 398 с.
8	<u>Батыгин В.В.</u> Сборник задач по электродинамике / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. -- М.: Наука, 2002. -- 639 с.
9	<u>Джексон Дж. Д.</u> Классическая электродинамика./ Дж. Д. Джексон. – М.: Мир, 1965. - 850 с.
10	<u>Алексеев А.И.</u> Сборник задач по классической электродинамике./ А.И. Алексеев. – М.: Наука, 1977. – 317 с.
11	<u>Сборник задач по теоретической физике / Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич и др.</u> -- М.: Высш. шк., 1984. -- 319 с.

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

№ п/п	Источник
12	Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. II. Теория поля [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л.Д., Лифшиц .М. - 8-е изд., стереот. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. — Москва : Физматлит, 2006 .— 536 с //«Университетская библиотека online»: электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100564.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100564.html</a>
13	<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

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

№ п/п	Источник
1	Овсянников В.Д. Электродинамика зарядов и токов в вакууме : учебное пособие для вузов, Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2014 .— Ч. 1. - 95 с. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-153.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-153.pdf</a> >
2	Овсянников В.Д. Релятивистская электродинамика. Электродинамика сплошных сред : учебное пособие для вузов / В.Д. Овсянников .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2016 .— Ч. 2. - 83 с.
3	Крыловецкая Т.А. Задачи по электродинамике. Ч.1. Стационарные электромагнитные поля. Пособие к практическим занятиям./ сост. Т.А. Крыловецкая, В.Д. Овсянников. -- Воронеж: ИПЦ ВГУ,, 2015. -- 42 с.
4	Крыловецкая Т.А. Задачи по электродинамике. Ч.2. Переменные электромагнитные поля / сост. Т.А. Крыловецкая, В.Д. Овсянников , А.В. Флегель . Воронеж, Воронеж. гос. ун-т, 2015. – 55 с.
5	Крыловецкая Т.А. Практический курс электродинамики/ Т.А. Крыловецкая, В.Д. Овсянников. Воронеж, Издательский дом ВГУ, 2019. – 102 с.

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

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

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, электронные средства презентации.

**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 – 1.5, 2.1 – 2.4	ОПК - 1	ОПК – 1.2	Контрольная работа 1
2.	Разделы 1.6, 2.5		ОПК – 1.3	Контрольная работа 2
3.	Раздел 1.7, 2.6 – 2.8		ОПК – 1.5	Контрольная работа 3
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов к экзамену

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины, осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные); тестирования.**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Контрольная работа 1,2,3

*(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)*

##### Пример варианта контрольной работы 1

1. Показать, что  $\operatorname{div} \operatorname{rot} \mathbf{A}(\mathbf{r}) = 0$ ;  $\operatorname{rot} \operatorname{grad} f(\mathbf{r}) = 0$ .
2. Доказать, что  $\operatorname{div} \mathbf{r} = 3$ ;  $\operatorname{rot} \mathbf{r} = 0$ ;  $\operatorname{div}(\varphi(\mathbf{r})\mathbf{r}) = 3\varphi(\mathbf{r}) + r d\varphi/dr$ .
3. Найти распределение напряженности электрического поля равномерно заряженного по объему цилиндра.

##### Пример варианта контрольной работы 2

1. Найти распределение напряженности электрического поля точечного заряда, находящегося на расстоянии  $d$  от центра заземленной проводящей сферы радиуса  $R < d$ .
2. Найти поверхностную плотность заряда и электродипольный момент проводящей сферы в однородном электрическом поле.
3. Рассчитать емкость плоского конденсатора.

##### Пример варианта контрольной работы 3

1. Определить магнитное поле бесконечного цилиндрического проводника с током.
2. Определить магнитное поле на оси, перпендикулярной плоскости кольца с током.
3. Рассчитать магнитный момент равномерно заряженного шара, вращающегося вокруг своей оси.

#### Описание технологии проведения

На решение заданий контрольной работы выделяется 2 академических часа. При решении задач студент может пользоваться заранее подготовленными методическими материалами.

#### Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценка «отлично»: *Подробные и безошибочные решения всех задач, допускаются незначительные вычислительные неточности.*

Оценка «хорошо»: *Подробные решения всех задач, выбор правильного хода решения для всех задач, допускаются вычислительные неточности, а также неполное выполнение отдельных заданий.*

Оценка «удовлетворительно»: *решение отдельных задач, допускаются незначительные неточности в выборе метода и хода решения задачи.*

Оценка «неудовлетворительно» *отсутствие правильно решенных задач, использование ошибочных методов и приемов для решения поставленных задач.*

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Список вопросов для проведения экзамена

*(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)*

1. Построение векторного поля по дивергенции и ротору.
2. Решение уравнения Пуассона.
3. Электрическое поле неподвижных зарядов.
4. Теорема Гаусса.
5. Электрический ток и уравнение непрерывности заряда.
6. Магнитное поле постоянного тока.
7. Закон электромагнитной индукции. Переменное электромагнитное поле.
8. Система уравнений Максвелла.
9. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность.
10. Вектор Пойнтинга и закон сохранения энергии.
11. Закон сохранения импульса в электромагнитном поле.
12. Электромultipольные моменты системы зарядов.
13. Энергия электростатической системы. Теорема Ирншоу.
14. Квазистационарное электромагнитное поле. Закон Био-Савара.
15. Магнитный момент замкнутого тока.
16. Волновое уравнение. Запоздывающие потенциалы.
17. Потенциалы поля дипольного излучателя.
18. Поле вдали от дипольного излучателя.
19. Дипольное излучение простейших систем.
20. Магнитодипольное и электроквадрупольное излучение.
21. Поле переменной системы зарядов на близких расстояниях.
22. Вектор Герца и вектор поляризации для протяженных излучателей.
23. Реакция излучения.
24. Ширина излучаемых линий.
25. Плоские электромагнитные волны. Поляризация плоской волны.
26. Рассеяние электромагнитных волн заряженными частицами.
27. Поглощение излучения. Силы осцилляторов и поляризуемость системы.
28. Преобразования Лоренца для координат и времени.
29. Преобразования векторов при переходе между инерциальными системами отсчета.
30. 4-скорость и 4-ускорение. Компоненты и модуль 4-скорости. Ортогональность 4-скорости и 4-ускорения.
31. Принцип наименьшего действия и функция Лагранжа свободной релятивистской частицы. Импульс и энергия релятивистской частицы. 4-импульс и преобразования Лоренца для энергии и импульса.
32. 4-вектор-потенциал электромагнитного поля. Действие, функция Лагранжа, импульс и

функция Гамильтона релятивистской частицы в электромагнитном поле. Калибровочная инвариантность потенциалов.

33. Тензор электромагнитного поля. Преобразования Лоренца для электромагнитного поля. 4-вектор плотности тока и заряда. Уравнения Максвелла в 4-мерном виде.

34. Свободный и связанный заряды. Вектор поляризации диэлектрика. Усреднение микроскопических уравнений постоянного электрического поля в диэлектрике.

35. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость диэлектрика. Поле в однородном диэлектрике. Два класса диэлектриков. Закон Кюри для поляризуемости.

36. Проводимость и сопротивление проводника. Законы Ома, Джоуля, Кирхгоффа. Классическая электронная теория проводимости металла (электронная модель Друде).

37. Взаимодействие токов и магнитных полей. Эффект Холла. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле.

38. Ток проводимости и молекулярный ток. Вектор намагничивания магнетика. Молекулярный ток на поверхности магнетика.

39. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Поле в однородном магнетике. Теорема Лармора. Диамагнетизм.

40. Парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Поле Вейсса. Гистерезис.

41. Уравнения Максвелла в среде. Объемные и поверхностные уравнения. Энергия электромагнитного поля в среде.

42. Теорема Пойнтинга. Единственность решения уравнений Максвелла.

43. Плоские волны в диэлектрике. Отражение и преломление плоских волн на границе двух сред. Формулы Френеля. Закон Брюстера.

### **Описание технологии проведения**

Экзамен проходит в устной форме. Студенту предлагается 2 вопроса из полного списка вопросов, на которые он должен дать развернутый ответ в течение одного академического часа. В случае, если студент имеет оценку «неудовлетворительно» по одной из контрольных работ текущей аттестации, ему также предлагается одна из задач из соответствующей контрольной работы.

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

*«Отлично»: Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом, умение решать практические задачи*

*«Хорошо»: Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала, умение решать практические задачи*

*«Удовлетворительно»: Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала, низкие навыки решения практических задач*

*«Неудовлетворительно»: плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов, отсутствие навыков решения практических задач*