

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет**

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

и.о. декана \_\_\_\_\_ Малышев А.И.

« 30 » \_\_\_\_\_ августа 2017 г.

## **Рабочая программа дисциплины**

**Электродинамика**

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

**бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность**

**03.03.02 Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**профиль "Физика конденсированного состояния"**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**очно-заочная**

(очная / очно-заочная / заочная)

**Год набора**

**2016**

(для обучающихся какого года набора разработана Рабочая программа)

Нижегород – 2017

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Электродинамика» относится к базовой части Б1.Б блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на третьем учебном году, в шестом семестре. Освоению данной дисциплины предшествует изучение дисциплин (модулей) «Дифференциальные уравнения», «Векторный и тензорный анализ», «Электричество и магнетизм» и «Теоретическая механика».

Целями освоения дисциплины «Электродинамика» являются:

- овладение уравнениями электромагнитного поля в вакууме (уравнения Максвелла);
- осознание фундаментальной природы уравнений Максвелла, их связи с эйнштейновским принципом относительности;
- понимание и умение использовать законы движения заряженных частиц в электромагнитном поле;
- знание свойства электромагнитных волн, основных механизмов излучения электромагнитных волн;
- понимание смысла и умение использовать уравнения электромагнитного поля для описания явлений в сплошных средах;
- выработка у студентов практических навыков описания сложных процессов и закономерностей физики на языке адекватных и хорошо известных моделей.

## 2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Электродинамика» составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 67 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (3 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 32 часа занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 149 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (113 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

## Содержание дисциплины «Электродинамика»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>1. Экспериментальные предпосылки теории электромагнитного поля.</b> 4 фундаментальных взаимодействия. Электромагнитное взаимодействие. Экспериментальные предпосылки теории электромагнитного поля: наличие электрического заряда, разноименность зарядов, сохранение электрического заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции для сил Кулона. Дискретность заряда. Близко- и дальное действие. Полевая концепция.	8	1	—	—	1	7
<b>2. Электростатика в вакууме.</b> Электрическое поле. Электрическое поле точечного заряда. Принцип суперпозиции для полей. Теорема Гаусса в интегральной форме. Плотность заряда. Теорема Гаусса в дифференциальной форме. Плотность точечного заряда. Дельта-функция Дирака в одномерии: определение и свойства. Дельта-функция Дирака в трехмерии: определение и свойства. Трехмерная дельта-функция в сферических координатах. Центрированная трехмерная дельта-функция в сферических координатах. Двумерная дельта-функция в полярных координатах. Центрированная двумерная дельта-функция в полярных координатах. Ступенчатая функция Хевисайда: определение и свойства. Дивергенция электрического поля точечного заряда. Электрическое поле системы точечных зарядов. Электрическое поле системы распределенных зарядов.	26	5	6	—	11	15

<p>Электрическое поле однородно заряженных сферы и шара; однородно заряженной бесконечной нити; однородно заряженных бесконечных цилиндра и цилиндрической поверхности; однородной заряженной плоскости. Определение электростатического потенциала. Свойства электростатического потенциала. Электростатический потенциал систем точечных и распределенных зарядов. Уравнение Пуассона. Уравнение Лапласа. Решение уравнения Пуассона для однородно заряженных сферы и шара; однородно заряженной бесконечной нити; однородно заряженных бесконечных цилиндра и цилиндрической поверхности; однородно заряженной плоскости. Метод разделения переменных решения уравнений Пуассона и Лапласа. Метод разделения переменных для уравнения Лапласа в декартовых координатах. Метод разделения переменных для уравнения Лапласа в сферических координатах. Метод разделения переменных решения уравнения Пуассона в случае, когда функция в правой части является собственной функцией лапласиана. Функция Грина уравнения Пуассона. Общее решение уравнения Пуассона. Связь потенциала и работы электрического поля. Теорема о циркуляции постоянного электрического поля. Уравнения электростатики в вакууме в дифференциальной форме. Граничные условия для постоянного электрического поля. Электростатический потенциал на большом расстоянии от системы распределенных зарядов. Мультипольное разложение. Электростатический потенциал и электрическое поле полного заряда, электрического диполя и электрического квадрупольного момента. Электрический дипольный момент. Тензор электрического квадрупольного момента. Свойства</p>						
--	--	--	--	--	--	--

дипольного момента. Свойства тензора квадрупольного момента. Квадрупольный момент для систем с цилиндрической симметрией. Дипольный момент и тензор квадрупольного момента для системы дискретных зарядов. Дипольный момент и «центры масс» положительного и отрицательного зарядов. Плечо диполя. Предел точечного диполя.						
<b>3. Магнитостатика в вакууме.</b> Плотность тока. Сила тока. Уравнение непрерывности в интегральной и дифференциальной формах. Условие стационарности тока. Замкнутость линий стационарного тока. Линейные токи. Стационарные токи как источник постоянного магнитного поля. Ротор постоянного магнитного поля. Циркуляция постоянного магнитного поля. Магнитное поле прямого тока: закон Эрстеда. Магнитное поле тока, равномерно распределенного по сечению цилиндра, и тока, равномерно распределенного по поверхности цилиндра. Соотношение между электрическим и магнитным полем на примере поля прямого тока. Дивергенция магнитного поля. Векторный потенциал. Уравнение Пуассона для векторного потенциала. Граничное условие для магнитного поля и для векторного потенциала. Калибровка векторного потенциала постоянного магнитного поля. Калибровочное условие Кулона. Метод векторного потенциала определения магнитного поля. Векторный потенциал магнитного поля прямого тока, вертикального тока, распределенного по поперечному сечению цилиндра, вертикального тока, распределенного по поверхности цилиндра. Общее решение уравнения Пуассона для векторного потенциала. Векторный потенциал магнитного поля линейных токов. Закон Био-Савара. Магнитное поле линейных токов. Методы формирования однородного магнитного поля. Векторный потенциал постоянного	17	3	3	–	6	11

однородного магнитного поля. Симметричная калибровка. Градиентное преобразование к калибровке Ландау и ортогональной ей калибровке. Векторный потенциал магнитного поля на большом расстоянии от стационарного тока. Магнитный момент. Магнитное поле магнитного момента. Магнитный момент системы заряженных частиц. Гиромагнитное отношение. Магнитный момент плоского контура с током.						
<b>4. Уравнения Максвелла.</b> Явление электромагнитной индукции. Уравнение для ротора электрического поля в случае нестационарного магнитного поля. Уравнение для ротора магнитного поля в случае нестационарного электрического тока. Ток смещения Максвелла. Система уравнений Максвелла в вакууме в дифференциальной и интегральной формах. Условия перехода от уравнений Максвелла для переменного электромагнитного поля к уравнениям Максвелла для стационарных электрического и магнитного полей. Скалярный и векторный потенциалы электромагнитного поля. Неоднородные уравнения Д'Аламбера для скалярного и векторного потенциалов электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность уравнений электромагнитного поля. Калибровочное условие Лоренца.	12	2	1	—	3	9
<b>5. Энергия электромагнитного поля.</b> Закон сохранения энергии в электромагнитном поле. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Импульс электромагнитного поля. Энергия постоянного электрического поля и энергия системы зарядов. Собственная энергия заряженных частиц и энергия их взаимодействия. Природа расходимости собственной энергии в классической электродинамике. Энергия системы зарядов во внешнем поле: энергия заряда, диполя и квадруполь. Энергия взаимодействия двух точечных зарядов. Энергия	14	2	2	—	4	10

взаимодействия точечного заряда с точечным диполем. Диполь-дипольное взаимодействие. Энергия постоянного магнитного поля и энергия системы токов. Энергия взаимодействия токов. Магнитодипольное взаимодействие.						
<b>6. Электромагнитные волны в вакууме.</b> Уравнения Максвелла в отсутствии источников. Волновые уравнения для полей и потенциалов. Плоские электромагнитные волны в вакууме. Поперечность электромагнитных волн. Волновая калибровка. Вектор Пойнтинга, вектор плотности импульса и плотность энергии волны. Плоская волна как волновой пакет. Гармонические плоские волны. Волновое число и волновой вектор. Фазовая скорость и групповая скорость волны. Поляризация плоских волн. Поле движущихся зарядов. Общее решение неоднородного уравнения Д'Аламбера для скалярного и векторного потенциалов. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Поле на большом расстоянии от движущихся зарядов. Разложение по степеням $1/R$ . Учет собственного и внутреннего запаздывания. Пренебрежение внутренним запаздыванием. Скалярный потенциал электромагнитного поля на большом расстоянии от излучателя. Векторный потенциал электромагнитного поля на большом расстоянии от излучателя. Связь скалярного и векторного потенциалов на большом расстоянии от излучателя. Дипольное приближение в излучении электромагнитных волн. Электромагнитное поле в дипольном приближении. Ближняя, промежуточная и дальняя зоны излучения. Решения в дальней зоне в виде сферических волн. Вектор Пойнтинга и дифференциальная интенсивность излучения. Интегральная интенсивность излучения. Связь потерь энергии излучающей системы и интегральной	20	4	4	—	8	12

интенсивности излучения. Волновая зона излучения. Диаграмма направленности излучения. Диполь Герца. Средние по времени интегральная и дифференциальная интенсивность излучения диполя Герца. Излучение частицы, движущейся по окружности в однородном магнитном поле.						
<b>7. Усреднение уравнений Максвелла в сплошных средах.</b> Усреднение уравнений Максвелла в веществе по физически бесконечно малым элементам объема и промежуткам времени. Напряженность электрического поля и индукция магнитного поля. Вектор поляризации. Токи проводимости (токи подвижных зарядов), токи поляризации (токи связанных зарядов) и токи намагниченности. Вектор намагниченности. Индукция электрического поля и напряженность магнитного поля. Материальные уравнения (уравнения связи) в общем виде. Спонтанная поляризация и спонтанная намагниченность. Диэлектрическая и магнитная восприимчивости. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Система уравнений Максвелла в средах, дополненная материальными уравнениями. Границы применимости системы уравнений Максвелла в средах, дополненной материальными уравнениями. Начальные и граничные условия для системы уравнений Максвелла в средах. Связь нормальной компоненты поляризации на поверхности образца и поверхностной плотности внутренних зарядов. Связь тангенциальной компоненты намагниченности на поверхности образца и поверхностной плотности внутренних токов.	12	3	—	—	3	9
<b>8. Электростатика проводников и диэлектриков.</b> Электростатика диэлектриков. Уравнения для электрического поля в однородных (анизотропных или изотропных) диэлектриках. Электростатический потенциал заряда	15	2	4	—	6	9



в однородной анизотропной среде. Скачок электрического поля на плоской границе двух однородных диэлектриков. Однородный диэлектрический шар в однородном поле. Метод изображений для плоской границы двух однородных диэлектриков. Симметрия тензоров диэлектрической восприимчивости и диэлектрической проницаемости. Электростатика проводников. Поле внутри и снаружи проводника. Эквипотенциальность поверхности проводника и поле на поверхности проводника. Связь заряда и потенциала на проводнике: потенциальные и емкостные коэффициенты. Емкость проводника.						
<b>9. Магнитостатика сплошных сред.</b> Уравнение непрерывности для тока проводимости. Постоянный ток проводимости. Правила Кирхгофа. Закон Ома в дифференциальной и интегральной формах. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме. Симметрия тензора проводимости. Постоянное магнитное поле в средах. Уравнения для магнитного поля в однородных (анизотропных или изотропных) средах без спонтанной намагниченности. Симметрия тензоров магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости. Векторный потенциал магнитного поля в изотропной среде. Уравнения для магнитного поля в средах со спонтанной намагниченностью. Магнитное поле постоянных магнитов. Искажение магнитного поля при помещении в него постоянного магнита.	16	2	4		6	10
<b>10. Электромагнитные волны в сплошных средах.</b> Волны в изотропной среде без дисперсии в случае малой проводимости. Фазовая и групповая скорости волны. Волны в изотропной среде без дисперсии в случае высокой проводимости. Скин-эффект. Глубина скин-слоя в зависимости от частоты и проводимости. Проникновение магнитного поля в проводник и в	20	4	4	—	8	12

сверхпроводник при низкой частоте, проникновение электрического поля в проводник при низкой частоте.						
<b>11. Ковариантная формулировка уравнений Максвелла.</b> Принцип относительности Эйнштейна. Интервал. Собственное время. Преобразования Лоренца. Закон сложения скоростей. Четырехмерные векторы. Релятивистская механика. Лагранжиан. Заряженная частица в электромагнитном поле. Уравнения движения заряженной частицы. Движение в постоянном однородном электрическом поле. Движение в постоянном магнитном поле. Движение в постоянном однородном электрическом поле. Принцип наименьшего действия в электродинамике. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для полей. Инварианты поля. Действие для электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в четырехмерной форме.	17	4	4	—	8	9
<b>В т.ч. текущий контроль</b>	2	2				—
<b>Промежуточная аттестация – зачет и экзамен</b>						

### 3. Образовательные технологии

- 1) чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) выполнение практического задания у доски;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием;
- 7) работа в малых группах над практическим заданием;
- 8) методика «мозговой штурм».

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	(ОПК-3) <b>Знать</b> области применимости основных моделей классической электродинамики. (ОПК-3) <b>Уметь</b> решать в рамках профессиональной деятельности задачи, требующие знания основ классической электродинамики. (ОПК-3) <b>Владеть</b> навыками решения основных типов задач классической электродинамики.
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики и математики для освоения профильных физических дисциплин	(ПК-1) <b>Знать</b> принципы применения аппарата классической электродинамики в приложении к профильным физическим дисциплинам. (ПК-1) <b>Уметь</b> формулировать задачи в рамках профильных физических и дисциплин, требующие применения аппарата классической электродинамики. (ПК-1) <b>Владеть</b> навыками постановки и решения основных типов задач классической электродинамики, требующимися для моделирования профильных задач физики.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	(ПК-4) <b>Знать</b> принципы применения аппарата классической электродинамики в приложении к практическим задачам в рамках профессиональной деятельности. (ПК-4) <b>Уметь</b> формулировать практические задачи в рамках профессиональной деятельности, требующие применения аппарата классической электродинамики. (ПК-4) <b>Владеть</b> навыками постановки и решения основных типов задач классической электродинамики, требующимися для решения практических задач в рамках профессиональной деятельности.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Электродинамика» является **зачет и экзамен**.

По итогам зачета выставляются оценки «Не зачтено» (означает отсутствие аттестации) или «Зачтено» (означает прохождение первого этапа промежуточной аттестации – зачета). В случае прохождения зачета обучающийся допускается ко второму этапу промежуточной аттестации – экзамену.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

### **6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине**

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания на зачете являются наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины. Критериями оценивания на экзамене являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Не зачтено»** – обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Зачтено»** – обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

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

6.3.1. При проведении экзамена обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Электродинамика»:

1. Закон Кулона. Теорема Гаусса.

2. Потенциал электрического поля. Напряженность поля. Принцип суперпозиции.
3. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности.
4. Магнитное поле. Законы Эрстеда и Био-Савара. Сила Ампера.
5. Ток смещения.
6. Закон Фарадея. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в вакууме в дифференциальной и интегральной форме.
7. Общие свойства уравнений Максвелла. Уравнение непрерывности.
8. Закон сохранения энергии в электромагнитном поле.
9. Теорема Гаусса. Уравнение Пуассона. Методы решения. Метод функции Грина.
10. Энергия электростатического поля.
11. Плоские волны.
12. Вектор Пойнтинга, плотность энергии волны.
13. Монохроматические волны.
14. Поляризация волн.
15. Излучение электромагнитных волн.
16. Поле движущихся зарядов.
17. Заряженная частица в электромагнитном поле.
18. Уравнения движения заряженной частицы.
19. Движение в постоянном однородном электрическом поле.
20. Движение в постоянном магнитном поле.
21. Уравнения электромагнитного поля в средах.
22. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Связь потенциалов и векторов поля в среде.
23. Граничные условия для полей и потенциалов.
24. Материальные уравнения и пределы их применимости.
25. Законы сохранения в электродинамике покоящихся сред.
26. Уравнения для постоянных токов и граничные условия для проводящих сред.
27. Магнитное поле постоянных токов.
28. Уравнения для квазистационарного поля в интегральной и дифференциальной формах.
29. Локальный закон Ома в электродинамике.
30. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для линейных и нелинейных проводников.
31. Скин-эффект и глубина проникновения поля в проводник.
32. Уравнения для электромагнитной волны в однородной изотропной среде.

6.3.2. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие вопросы:

1. Закон Кулона. Теорема Гаусса.

2. Потенциал электрического поля. Напряженность поля. Принцип суперпозиции.
3. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности.
4. Магнитное поле. Законы Эрстеда и Био-Савара. Сила Ампера.
5. Ток смещения.
6. Закон Фарадея. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в вакууме в дифференциальной и интегральной форме.
7. Общие свойства уравнений Максвелла. Уравнение непрерывности.
8. Закон сохранения энергии в электромагнитном поле.
9. Теорема Гаусса. Уравнение Пуассона. Методы решения. Метод функции Грина.
10. Энергия электростатического поля.
11. Плоские волны.
12. Вектор Пойнтинга, плотность энергии волны.
13. Монохроматические волны.
14. Поляризация волн.
15. Излучение электромагнитных волн.
16. Заряженная частица в электромагнитном поле.
17. Уравнения движения заряженной частицы.
18. Движение в постоянном однородном электрическом поле.
19. Движение в постоянном однородном магнитном поле.
20. На основании каких положений выводятся уравнения электромагнитного поля в среде?
21. Уравнения Максвелла в сплошных средах в интегральной и дифференциальной формах. Связь потенциалов и векторов поля в среде.
22. Сформулировать и записать граничные условия для полей и потенциалов в вакууме и в сплошных средах.
23. Материальные уравнения и пределы их применимости.
24. Законы сохранения в электродинамике покоящихся сред.
25. Какими уравнениями описывается электростатическое поле в проводниках и диэлектриках?
26. Записать систему уравнений поля для постоянных токов и граничные условия для проводящих сред.
27. Записать уравнения для магнитного поля постоянных токов.
28. Записать уравнения квазистационарного поля в интегральной и дифференциальной формах.
29. Сформулировать закон индукции в движущихся проводниках и средах.
30. Локальный закон Ома в электродинамике.
31. Определить коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для линейных и нелинейных проводников.
32. Записать выражения для потока и энергии магнитного поля.
33. В чем состоит скин-эффект и какова глубина проникновения поля в проводник?

34. Записать уравнения для электромагнитной волны в однородной изотропной среде. Отличия и сходство в процессах распространения волн в среде и вакууме.

35. Определить законы и величины, характеризующие отражение и преломление электромагнитных волн.

6.3.3. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Для релятивистской частицы доказать, что мощность силы  $\vec{v} \cdot \vec{F}$ ,  $\vec{F} = e\vec{E}$ , равна скорости изменения энергии.
2. Два разноименных одинаковых по величине заряда жестко закреплены на расстоянии  $l$  друг от друга. Найти силу и момент силы, действующих на данную систему, помещенную в поле точечного заряда на расстоянии  $R \gg l$ .
3. Определить квадрупольный момент однородно заряженного эллипсоида относительно его центра.
4. Найти электрическое поле однородно заряженного по объему эллипсоида на больших расстояниях с точностью до четвертого порядка по  $1/R$ .
5. Показать, что однородное магнитное поле  $\vec{H}$ , направленное по оси  $z$ , может быть описано векторным потенциалом  $\vec{A}_1 = (0, Hx, 0)$ . Найти градиентное преобразование, которое переводит  $\vec{A}_1$  в новый потенциал  $\vec{A}_2 = \frac{1}{2}(-Hy, Hx, 0)$ .
6. Определить электрическое и магнитное поле гармонически колеблющегося диполя на расстояниях  $r$ , много больших размера диполя  $a$ , но не обязательно больших длины излучаемой волны  $\lambda$ .
7. В пространстве между параллельными бесконечными металлическими плоскостями  $x=0$  и  $x=L$  распределен заряд с объемной плотностью  $\rho(x) = \rho_0 \sin(\pi x/L)$ . Найти потенциал и электрическое поле между плоскостями.
8. В круглой рамке радиуса  $R$  течет ток силы  $I$ . Найти напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  на оси  $z$ , проходящей через центр рамки перпендикулярно ее плоскости.



9. Определить излучение диполя  $\vec{d}$ , вращающегося в одной плоскости и с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .
10. Найти распределение переменного электрического поля  $\vec{E}(x)e^{-i\omega t}$  внутри проводящего плоского слоя толщины  $2a$  с проводимостью  $\sigma \gg \omega$ . Поле на поверхности слоя считать заданным:  $E_y(\pm a) = E_0$ .
11. Имеется тонкий равномерно заряженный стержень длины  $2L$ . Решая уравнение Пуассона, найти потенциал и электрическое поле, создаваемое зарядами на стержне.
12. Идеально проводящий электрод радиуса  $a$  погружен наполовину в электролит с проводимостью  $\sigma$ . Слой электролита радиуса  $b$ , концентрический с электродом и прилегающий к нему, имеет проводимость  $\sigma_1$  ( $\sigma_1 > \sigma$ ). Найти сопротивление электролита между электродом и бесконечностью.
13. Две монохроматические волны поляризованы по кругу в противоположные стороны и распространяются в одном направлении. Амплитуды и частоты волн одинаковы, а фазы отличаются на постоянную величину. Определить суммарную волну.
14. Центр проводящего шара, заряд которого  $q$ , находится на плоской границе раздела двух бесконечных однородных диэлектриков с проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Найти потенциал  $\varphi$  электрического поля, а также распределение заряда  $\sigma$  на шаре.
15. В круглой рамке радиуса  $R$  течет ток силы  $I$ . Найти напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  на оси  $z$ , проходящей через центр рамки перпендикулярно ее плоскости.

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. *Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц*, Теоретическая физика. Т. 2 Теория поля: учеб. Пособие, М., Физматлит, 2006, 536 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2236>
2. *Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц*, Теоретическая физика. Т. 8  
Электродинамика сплошных сред: учеб. Пособие, М., Физматлит, 2005, 656 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2234>
3. *В.В. Батыгин, И.П. Топтыгин*, Сборник задач по электродинамике, М., Наука, 1970, 503 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=59049>

### б) дополнительная литература:

1. *В.Г. Левич*, Курс теоретической физики, Том I, М., Наука, 1969, 910 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72316>
2. *В.Г. Левич, Ю.А. Вдовин, В.А. Мямлин*, Курс теоретической физики, Том II, М., Наука, 1971, 936 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72317>
3. *А.И. Алексеев*, Сборник задач по классической электродинамике, М., Наука, 1977, 318 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=80718>
4. *В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер*, Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. направлениям и специальностям, М.: Физматлит, 2001, 168 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=430379>

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ  
<http://www.lib.unn.ru/>.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Авторы:

профессор кафедры  
теоретической физики  
физического факультета  
д. ф.-м. н., профессор

\_\_\_\_\_ / Сатанин А.М. /

ассистент кафедры  
теоретической физики  
физического факультета  
к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_ / Конаков А.А. /

Рецензент:

И.о. зав. кафедрой теоретической физики  
физического факультета,  
д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ от 30 августа 2017 года, протокол № б/н

Председатель  
Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Сдобняков В.В. /