

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**Физический факультет**

---

Утверждено

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

**Рабочая программа дисциплины**

**Электродинамика**

---

Уровень высшего образования  
**бакалавриат**

---

Направление подготовки / специальность  
**09.03.02 Информационные системы и технологии**

---

Направленность образовательной программы  
**Информационные системы и технологии в физических  
исследованиях**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Год начала подготовки

2022 год

Нижний Новгород

2023 год

### 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Электродинамика» (Б1.О.10) относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана ООП.

Дисциплина преподается в 5 семестре.

### 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**	
ПК-4. Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем	ПК-4.1. Знать современные методы описания физических явлений и процессов.	<i>Знать</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-4.2. Уметь применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем.	<i>Уметь</i>	<i>Задача</i>
	ПК-4.3. Иметь навыки использования приборов и функциональных устройств в информационных измерительных системах.	<i>Владеть</i>	<i>Задача</i>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	98
- занятия лекционного типа, ч	64
- практические занятия, ч	32
- лабораторных, ч	
-КСРИФ, ч	2
самостоятельная работа, ч	118
Промежуточная аттестация	экзамен

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>Микроскопическая электродинамика</b> 1. Частицы и поля. Закон Кулона. Теорема Гаусса. 2. Потенциал электрического поля. Напряженность поля. 3. Принцип суперпозиции. 4. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности. 5. Магнитное поле. Законы Эрстеда и Био-Савара. Сила Ампера. 6. Ток смещения. 7. Закон Фарадея. 8. Уравнения Максвелла. 9. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность. 10. Общие свойства уравнений Максвелла. 11. Закон сохранения энергии в электромагнитном поле. 12. Импульс поля. 13. Электростатическое поле. 14. Методы решения задач электростатики	104	26	13		39	50

15. Энергия электростатического поля. 16. Дипольный момент. 17. Квадрупольный момент. 18. Система зарядов во внешнем поле. 19. Диполь-дипольное взаимодействие. 20. Постоянное магнитное поле. 21. Метод векторного потенциала. 22. Магнитное поле на больших расстояниях от системы токов. 23. Магнитный момент. 24. Энергия магнитного поля. 25. Электромагнитные волны. 26. Плоские волны. 27. Вектор Умова-Пойтинга. Поток и плотность энергии в плоской электромагнитной волне. 28. Монохроматические волны. 29. Поляризация волн. 30. Собственные колебания поля. 31. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. 32. Потенциалы Лиенара-Вихерта. 33. Поле равномерно движущегося заряда. 34. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Дипольное излучение.						
<b>Теория относительности</b> 1. Принцип относительности Галилея. 2. Принцип относительности Эйнштейна. 3. Интервал. 4. Собственное время. 5. Преобразования Лоренца. 6. Закон сложения скоростей. 7. Четырехмерные векторы. 8. Релятивистская механика. Лагранжиан. 9. Заряженная частица в электромагнитном поле. 10. Уравнения движения заряженной частицы. 11. Движение в постоянном однородном электрическом поле. 12. Движение в постоянном магнитном поле. 13. Тензор электромагнитного поля. 14. Преобразование Лоренца для полей. 15. Инварианты поля. 16. Действие для электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в четырехмерной форме.	33	6	3		9	18

<b>Макроскопическая электродинамика</b>	113	32	16		48	50
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уравнения Максвелла в среде.</li> <li>2. Материальные уравнения.</li> <li>3. Граничные условия.</li> <li>4. Электростатическое поле проводников.</li> <li>5. Энергия электростатического поля проводников.</li> <li>6. Теорема взаимности.</li> <li>7. Коэффициенты емкости и электростатической индукции.</li> <li>8. Метод изображений.</li> <li>9. Метод инверсии.</li> <li>10. Сила, действующая на проводник в поле</li> <li>11. Электростатическое поле в диэлектриках.</li> <li>12. Постоянный ток.</li> <li>13. Линейные проводники. Законы Кирхгофа.</li> <li>14. Постоянное магнитное поле. Граничные условия.</li> <li>15. Магнитный поток. Поле контуров с током. Индуктивности.</li> <li>16. Энергия системы линейных токов.</li> <li>17. Квазистационарное электромагнитное поле.</li> <li>18. Квазистационарное приближение в случае линейных проводников.</li> <li>19. Скин-эффект. Импеданс.</li> <li>20. Скин-эффект в цилиндрическом проводнике.</li> <li>21. Электромагнитные волны в средах. Волны в диэлектриках.</li> <li>22. Волны в проводниках.</li> <li>23. Частотная дисперсия.</li> <li>24. Свойства диэлектрической проницаемости: причинность и аналитичность. Соотношения Крамерса-Кронига.</li> <li>25. Пространственная дисперсия.</li> <li>26. Уравнения Максвелла в случае изотропных диэлектриков с пространственной дисперсией.</li> <li>27. Волны в изотропных средах с дисперсией.</li> <li>28. Волны в анизотропных средах.</li> </ol>						

29. Отражение и преломление волн (случай нормального падения). 30. Волноводы. 31. Волны в волноводе прямоугольного сечения. 32. Волны в цилиндрическом волноводе. 33. Электродинамика сверхпроводников.						
<u>КСРИФ</u>	2				2	
<u>Итого</u>	Error! Re source not	Error! Re source not	Error! Re source not	Error! Re source found.	98	118

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме - экзамен.

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

Самостоятельная работа обучающегося проводится в форме выполнения домашних контрольных заданий и изучения лекционного материала. В качестве учебно-методического обеспечения самостоятельной работы используется литература, указанная в разделе 6. Примеры контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				

<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	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

Оценка		Уровень подготовки
		ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

### 5.2.1 Контрольные вопросы

№	Вопросы	Код формируемой компетенции
1	Уравнения движения заряженной частицы в ЭМП. Закон изменения энергии частицы. Монохроматические плоские ЭМВ. Поляризация монохроматических ЭМВ.	ПК-4
2	Объемная и поверхностная плотности зарядов, вектор плотности электрического тока. Уравнение непрерывности. Эффект Доплера для ЭМВ.	ПК-4
3	Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Общее решение уравнений для потенциалов ЭМП в виде запаздывающих потенциалов.	ПК-4
4	Потенциалы ЭМП. Градиентные (калибровочные) преобразования для потенциалов. Электромагнитные волны в вакууме. Волновое уравнение и его свойства.	ПК-4
5	Ток смещения. Монохроматические плоские волны. Волновые пакеты. Соотношения неопределенностей для волновых пакетов.	ПК-4
6	4-векторы потенциала ЭМП и плотности тока. Уравнение непрерывности в 4-х мерном виде. Излучение на больших расстояниях от системы зарядов.	ПК-4

7	Тензор напряженностей ЭМП. Преобразования Лоренца для напряженностей полей. Плоские ЭМВ.	ПК-4
8	Инварианты ЭМП. Интенсивность излучения. Излучение по направлениям в дипольном приближении.	ПК-4
9	Электростатическое поле в вакууме. Функция Грина оператора Лапласа. Сила лучистого трения. Естественная ширина спектральных линий излучения.	ПК-4
10	Электростатическое поле на больших расстояниях от системы зарядов. Рассеяние ЭМВ заряженными частицами.	ПК-4
11	Тензор квадрупольного момента системы зарядов и его свойства. Усреднение микроскопических напряженностей электрического и магнитного полей в веществе. Уравнения Максвелла для усредненных величин.	ПК-4
12	Статическая заряженная система во внешнем электростатическом поле. Поляризация вещества во внешнем поле. Вектор поляризации, объемная и поверхностная плотности связанных зарядов. Вектор электрической индукции.	ПК-4
13	Общее решение уравнения Лапласа в сферических координатах. Усреднение вектора плотности тока в веществе.	ПК-4
14	Статическое магнитное поле в вакууме. Закон Био-Савара-Лапласа. Уравнения Максвелла для напряженностей ЭМП в веществе в дифференциальной и интегральной формах.	ПК-4
15	Магнитное поле на больших расстояниях от системы токов. Уравнения для потенциалов ЭМП в веществе. Калибровка Лоренца в среде.	ПК-4
16	Магнитный момент. Закон сохранения энергии ЭМП в веществе. Джоулево тепловыделение.	ПК-4
17	Постоянный ток в неограниченной проводящей среде. Сопротивление среды. Граничные условия для напряженностей полей в кусочно-однородных средах.	ПК-4
18	Уравнения электростатического поля в веществе. Граничные условия для потенциала на границе раздела двух диэлектриков. Скин-эффект.	ПК-4
19	Проводники в электростатическом поле. Условия для потенциала на поверхности проводника. Поверхностная плотность индуцированных полей зарядов на проводнике. ЭМВ в однородных проводящих средах. Коэффициент преломления и декремент затухания ЭМВ в среде.	ПК-4
20	Емкость проводника. Потенциальные и емкостные коэффициенты. Распространение ЭМВ в волноводах односвязного сечения. ТМ - и ТЕ - волны.	ПК-4
21	Методы решения электростатических задач в средах. Классификация ТМ – волн в волноводе прямоугольного сечения.	ПК-4

	Групповая и фазовая скорости волн.	
22	Постоянный ток в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Классификация ТЕ – волн в волноводе прямоугольного сечения. Групповая и фазовая скорости волн.	ПК-4
23	Линейные проводники с током. Закон Ома. Поля высокой частоты в однородной среде. Временная дисперсия среды.	ПК-4
24	Постоянное магнитное поле в веществе. Закон Био-Савара-Лапласа. Пространственно-временная дисперсия среды. Соотношения Крамерса-Кронига для диэлектрической проницаемости.	ПК-4
25	Закон сохранения энергии ЭМП. Плотность энергии ЭМП в вакууме, плотность потока энергии. Тензор диэлектрической проницаемости в однородной среде при наличии пространственно-временной дисперсии. ЭМВ в среде при наличии пространственно-временной дисперсии.	ПК-4
26	Дисперсия света. Индуктивность. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции системы линейных контуров. Свободная энергия магнитного поля системы контуров с токами.	ПК-4

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Внутри бесконечного цилиндра, однородно заряженного с объемной плотностью  $\rho$ , имеется цилиндрическая полость. Расстояние между осью цилиндра и осью полости равно  $l$ . Найти поле  $\vec{E}$  внутри полости.
2. Вдоль бесконечного однородного цилиндра произвольного радиуса течет постоянный ток с объемной плотностью  $\vec{j}$ . Объемная и поверхностная плотности заряда цилиндра равны нулю. Найти скорости  $\vec{V}$  инерциальных систем отсчета, где в каждой точке пространства напряженность электрического поля по модулю в  $N$  раз меньше напряженности магнитного.
3. Конденсатор произвольной формы заполнен однородным диэлектриком с проницаемостью  $\epsilon$ . Найти емкость этого конденсатора, если известно, что при заполнении его однородным проводником с проводимостью  $\sigma$  он оказывает постоянному току сопротивление  $R$ .

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, т. 2, Теория поля, М. Наука, 1988.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, т. 8, Электродинамика сплошных сред, М. Наука, 1982.
3. В.Г. Левич, Курс теоретической физики, Т. 1, М. Наука, 1969.
4. В.В. Батыгин, И.П. Топтыгин, Сборник задач по электродинамике, М. Наука, 1970.

б) дополнительная литература:

1. Дж. Джексон, Классическая электродинамика, Мир, 1965.
2. В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер, Сборник задач по электродинамике, ННГУ, 1993.

- в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):
- 1) Пакеты компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica, Matlab, MathCAD, Maple или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.
  - 2) Интернет-ресурсы справочной и математической литературы со свободным или условно-свободным доступом [www.eqworld.ipmnet.ru](http://www.eqworld.ipmnet.ru) , [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные досками и мелом или магнитно-маркерными досками с наборами маркеров.

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 ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии».

Автор:

доцент каф. теоретической физики  
физического факультета

\_\_\_\_\_

Перов А.А.

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор, зав. каф.  
статистической радиофизики и  
мобильных систем связи РФФ

\_\_\_\_\_

Мальцев А.А.

Заведующий кафедрой ИТФИ  
д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_

Фидельман В.Р

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета