

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 № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Электродинамика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Медицинская физика

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11.02 Электродинамика относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ИД ОПК-1: Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ИД ОПК-1: Демонстрация способности на практике применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Аудиторная контрольная работа	Экзамен: Рабочая тетрадь Тест

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	6
Часов по учебному плану	216
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	48
- КСР	2
самостоятельная работа	66
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	в том числе
--	-------	-------------

	(часы)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Микроскопическая электродинамика 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 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.	76	26	20	46	30
Тема 2. Теория относительности 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.	22	6	4	10	12
Тема 3. Макроскопическая электродинамика 1. Уравнения Максвелла в среде. 2. Материальные уравнения. 3. Граничные условия. 4. Электростатическое поле проводников. 5. Энергия электростатического поля проводников. 6. Теорема взаимности. 7. Коэффициенты емкости и электростатической индукции. 8. Метод изображений. 9. Метод инверсии. 10. Сила, действующая на проводник в поле 11. Электростатическое поле в диэлектриках. 12. Постоянный ток. 13. Линейные проводники. Законы Кирхгофа. 14. Постоянное магнитное поле. Граничные условия. 15. Магнитный поток. Поле контуров с током. Индуктивности. 16. Энергия системы линейных токов. 17. Квазистационарное электромагнитное поле. 18. Квазистационарное приближение в случае линейных проводников. 19. Скин-эффект. Импеданс. 20. Скин-эффект в цилиндрическом проводнике. 21. Электромагнитные волны в средах. Волны в диэлектриках. 22. Волны в проводниках. 23. Частотная дисперсия. 24. Свойства диэлектрической проницаемости: причинность и аналитичность. Соотношения Крамерса-Кронига. 25. Пространственная дисперсия. 26. Уравнения Максвелла в случае изотропных диэлектриков с пространственной дисперсией. 27. Волны в изотропных средах с дисперсией. 28. Волны в анизотропных средах. 29. Отражение и преломление волн (случай нормального падения). 30. Волноводы. 31. Волны в волноводе прямоугольного сечения. 32. Волны в цилиндрическом волноводе. 33. Электродинамика	80	32	24	56	24

сверхпроводников.					
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	216	64	48	114	66

Содержание разделов и тем дисциплины

Микроскопическая электродинамика. Электродинамика вещества.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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

Нет.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

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

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Аудиторная контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Внутри бесконечного цилиндра, однородно заряженного с объемной плотностью ρ , 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 ϵ . Найти емкость этого конденсатора, если известно, что при заполнении его однородным проводником с проводимостью σ он оказывает постоянному току сопротивление R .

Критерии оценивания (оценочное средство - Аудиторная контрольная работа)

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

Оценка	Критерии оценивания
	компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

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

1 Уравнения движения заряженной частицы в ЭМП. Закон изменения энергии частицы.

Монохроматические плоские ЭМВ. Поляризация монохроматических ЭМВ.

2 Объемная и поверхностная плотности зарядов, вектор плотности электрического тока. Уравнение непрерывности. Эффект Доплера для ЭМВ.

3 Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Общее решение уравнений для потенциалов ЭМП в виде запаздывающих потенциалов.

4 Потенциалы ЭМП. Градиентные (калибровочные) преобразования для потенциалов.

Электромагнитные волны в вакууме. Волновое уравнение и его свойства.

5 Ток смещения. Монохроматические плоские волны. Волновые пакеты. Соотношения неопределенностей для волновых пакетов.

6 4-векторы потенциала ЭМП и плотности тока. Уравнение непрерывности в 4-х мерном виде.

Излучение на больших расстояниях от системы зарядов.

7 Тензор напряженностей ЭМП. Преобразования Лоренца для напряженностей полей. Плоские ЭМВ.

8 Инварианты ЭМП. Интенсивность излучения. Излучение по направлениям в дипольном приближении.

9 Электростатическое поле в вакууме. Функция Грина оператора Лапласа. Сила лучистого трения. Естественная ширина спектральных линий излучения.

10 Электростатическое поле на больших расстояниях от системы зарядов. Рассеяние ЭМВ заряженными частицами.

11 Тензор квадрупольного момента системы зарядов и его свойства. Усреднение микроскопических напряженностей электрического и магнитного полей в веществе. Уравнения Максвелла для усредненных величин.

12 Статическая заряженная система во внешнем электростатическом поле. Поляризация вещества во внешнем поле. Вектор поляризации, объемная и поверхностная плотности связанных зарядов. Вектор

электрической индукции.

13 Общее решение уравнения Лапласа в сферических координатах. Усреднение вектора плотности тока в веществе.

14 Статическое магнитное поле в вакууме. Закон Био-Савара-Лапласа. Уравнения Максвелла для напряженностей ЭМП в веществе в дифференциальной и интегральной формах.

15 Магнитное поле на больших расстояниях от системы токов. Уравнения для потенциалов ЭМП в веществе. Калибровка Лоренца в среде.

16 Магнитный момент. Закон сохранения энергии ЭМП в веществе. Джоулево тепловыделение.

17 Постоянный ток в неограниченной проводящей среде. Сопротивление среды. Граничные условия для напряженностей полей в кусочно-однородных средах.

18 Уравнения электростатического поля в веществе. Граничные условия для потенциала на границе раздела двух диэлектриков. Скин-эффект.

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.

20 Емкость проводника. Потенциальные и емкостные коэффициенты. Распространение ЭМВ в волноводах односвязного сечения. ТМ - и ТЕ - волны.

21 Методы решения электростатических задач в средах. Классификация ТМ – волн в волноводе прямоугольного сечения. 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.

23 Линейные проводники с током. Закон Ома. Поля высокой частоты в однородной среде. Временная дисперсия среды.

24 Постоянное магнитное поле в веществе. Закон Био-Савара-Лапласа. Пространственно-временная дисперсия среды. Соотношения Крамерса-Кронига для диэлектрической проницаемости.

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.

26 Дисперсия света. Индуктивность. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции системы линейных контуров. Свободная энергия магнитного поля системы контуров с токами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Теоретическая физика. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Москва : Физматлит, 2006., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634777&idb=0>.
2. Ландау Лев Давыдович. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред / перераб. и доп. Е. М. Лифшицем, Л. П. Питаевским. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. - 624 с. - 60.00., 373 экз.
3. Левич Вениамин Григорьевич. Курс теоретической физики : [для физ.-техн. вузов и фак.]. Т. 1 : Теория электромагнитного поля. Теория относительности. Статистическая физика. Электромагнитные процессы в веществе. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1969. - 910 с. : с черт. - 4200.00., 109 экз.
4. Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности / Батыгин В. В., Топтыгин И. Н. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 480 с. - Книга из

коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-0921-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799674&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Джексон Джон. Классическая электродинамика / пер. с англ. Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева ; под ред. Э. Л. Бурштейна. - М. : Мир, 1965. - 702 с. : черт. - 2.95., 23 экз.
2. Гильденбург Владимир Борисович. Сборник задач по электродинамике : учеб. пособие. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 1993. - 123 с. - 210.00., 62 экз.

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 , www.twirpx.com

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

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

Автор(ы): Перов Анатолий Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.11.2024, протокол № б/н.