

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Демин Виталий Анатольевич**
Алабужев Алексей Анатольевич

Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
Код УМК 74256

Утверждено
Протокол №6
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Электродинамика

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.03** Радиофизика
направленность Электроника, микро- и наноэлектроника

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Электродинамика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.03 Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и наноэлектроника)

ОПК.3 Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Индикаторы

ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.03.03 Радиофизика (направленность: Электроника, микро- и наноэлектроника)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	8
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	56
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	88
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (8 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Электродинамика. Первый семестр

Введение

Основные этапы развития теории электромагнитного поля. Общий характер построения читаемого курса.

Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий).

Скалярные, векторные и тензорные величины. Дифференциальные операции первого и второго порядков. Дифференциально-векторные тождества. Интегральные теоремы. Криволинейные системы координат.

Понятие напряженностей электрического и магнитного полей, плотностей тока и заряда. Сила Лоренца.

Закон сохранения заряда

Электростатика

Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа.

Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков.

Некоторые общие теоремы электростатики. Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.

Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды. Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент. Тензор квадрупольного момента.

Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).

Конструктивные методы: метод изображений; метод заполнения диэлектриком.

Метод разделения переменных. Разделение переменных в уравнении Лапласа в декартовой системе координат (иллюстрация метода). Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле.

Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.

Дискретное описание электростатических систем. Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и емкостных коэффициентов. Понятие емкости.

Электростатические цепи.

Магнитостатика

Уравнения, описывающие магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара.

Поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее. Магнитный дипольный момент. Поле магнитного диполя.

Уравнения Максвелла и общие свойства э.м. полей

Уравнение Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Постулаты, связывающие э.м. явления с механическими. Пределы применимости уравнений классической электродинамики.

Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.

Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока э.м. энергии. Закон сохранения импульса. Понятие плотности э.м. импульса и тензора натяжений для

поля в вакууме.

Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

Классификация основных типов э.м. явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

Переменные электромагнитные поля; общее описание

Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного э.м. поля в общем случае.

Дифференциальные уравнения второго порядка для э.м. полей. Описание с помощью потенциалов.

Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Волновые уравнения для потенциалов.

Вектор Герца. Магнитные потенциалы.

Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с потенциалами. Возможность оперирования с произведением комплексных векторов. Комплексная теорема Пойнтинга.

Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения. Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения.

Простейшая излучающая система - элементарный электрический вибратор (диполь Герца). Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения. Поле магнитного диполя (с использованием принципа двойственности).

Общее представление поля излучения произвольной системы заданных гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная Фурье-гармоника плотности тока. Основные характеристики направленности излучающей системы.

Потенциалы Лиенара - Вихерта

Излучение движущегося заряда. Радиационное торможение.

Специальная теория относительности

Принцип относительности. Экспериментальные обоснования специальной теории относительности.

Независимость скорости света от движения источника. Преобразования Лоренца для координат и времени. Интервал.

Релятивистская кинематика. Закон сложения скоростей. Преобразование промежутков времени, длин и углов.

Релятивистское обобщение уравнений механики Ньютона. Уравнение движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле.

Законы преобразования энергии и импульса. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы.

Принцип стационарного действия в электродинамике.

Уравнения движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле в форме Лагранжа.

Четырехмерный формализм Минковского.

Ковариантная запись закона сохранения заряда. Законы преобразования плотностей заряда и тока.

Ковариантная запись калибровочного условия Лоренца и уравнений для потенциалов. Закон преобразования потенциалов.

Тензор электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений Максвелла для полей в вакууме.

Законы преобразования напряженностей поля. Инварианты электромагнитного поля.

Инвариантность фазы. Законы преобразования частоты и волнового вектора электромагнитной волны.

Астрономическая абберация и эффект Доплера.

Излучение быстро движущегося заряда.

Функция Лагранжа для электромагнитного поля при заданных зарядах и токах. Получение уравнений Максвелла из принципа стационарного действия.

Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись законов сохранения.

Плотность энергии, импульса и момента импульса электромагнитного поля.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Электромагнитные поля и волны. Сборник задач и упражнений : учебное пособие / Л. А. Боков, А. Е. Мандель, Ж. М. Соколова, Л. И. Шангина. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. — 185 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/72229.html>
2. Любимов Д. В. Электродинамика. Электромагнитное поле в вакууме: учебное пособие / Д. В. Любимов. — Пермь, 2007, ISBN 5-7944-0811-1. — 91.

Дополнительная:

1. Батыгин В. В., Топтыгин И. Н. Сборник задач по электродинамике / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; ред. М. М. Бредов. — Москва: Регулярная и хаотическая динамика, 2002, ISBN 5-93972-155-9. — 640. — Библиогр.: с. 633-639
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. учебное пособие для вузов : в 5 т. Т. 3. Электричество / Д. В. Сивухин. — 5-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006, ISBN 5-9221-0673-2. — 656. — Имен. указ.: с. 646-647. — Предм. указ.: с. 648-654
3. Лобов Н. И., Любимов Д. В. Электродинамика сплошных сред: учебно-методическое пособие / Н. И. Лобов, Д. В. Любимов. — Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-1889-7, 2-е изд., стер. — 1. <https://elis.psu.ru/node/25313>
4. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский. — 8-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006, ISBN 5-9221-0056-4. — 536

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Электронные ресурсы научной библиотеки ПГНИУ

<https://elis.psu.ru/> Электронная мультимедийная библиотека ELiS

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Электродинамика** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.
Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-

образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Электродинамика**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.3

Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности</p>	<p>Знать основные уравнения и законы электростатики и магнитостатики, закон Био-Савара, описание переменного э.м., условия калибровки, основы СТО и описания динамики тел на околосветовых скоростях. Уметь вычислять электрические поля зарядов и их систем, находить поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее, использовать комплексную запись полей и уравнений Максвелла, функцию Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения, применять преобразования Лоренца. Владеть методами теории потенциала, методами описания излучающих систем, понятиями и методами электродинамики движущихся тел</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные уравнения и законы электростатики и магнитостатики, закон Био-Савара, описание переменного э.м., условия калибровки, основы СТО и описания динамики тел на околосветовых скоростях. Не умеет вычислять электрические поля зарядов и их систем, находить поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее, использовать комплексную запись полей и уравнений Максвелла, функцию Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения, применять преобразования Лоренца. Не владеет методами теории потенциала, методами описания излучающих систем, понятиями и методами электродинамики движущихся тел</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных уравнений и законов электростатики и магнитостатики, закона Био-Савара, описания переменного э.м., условий калибровки, основ СТО и описания динамики тел на околосветовых скоростях. Демонстрирует частично сформированное умение вычислять электрические поля зарядов и их систем, находить поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее, использовать комплексную запись полей и уравнений Максвелла, функцию Грина и общее решение неоднородного волнового</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>уравнения, применять преобразования Лоренца. Имеет представление о методах теории потенциала, методах описания излучающих систем, понятиях и методах электродинамики движущихся тел</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных уравнений и законов электростатики и магнитостатики, закона Био-Савара, описания переменного э.м., условий калибровки, основ СТО и описания динамики тел на околосветовых скоростях. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения вычислять электрические поля зарядов и их систем, находить поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее, использовать комплексную запись полей и уравнений Максвелла, функцию Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения, применять преобразования Лоренца. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами теории потенциала, методами описания излучающих систем, понятиями и методами электродинамики движущихся тел</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных уравнений и законов электростатики и магнитостатики, закона Био-Савара, описания переменного э.м., условий калибровки, основ СТО и описания динамики тел на околосветовых скоростях. Сформированное умение вычислять электрические поля зарядов и их систем, находить поле произвольной системы токов на большом расстоянии от нее, использовать комплексную запись полей и уравнений Максвелла, функцию Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения, применять преобразования Лоренца. Успешное и систематическое применение методов теории потенциала, описания излучающих систем, понятий и</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично методов электродинамики движущихся тел

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС +

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Введение Входное тестирование	Основы электромагнетизма и векторного анализа
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Электростатика Письменное контрольное мероприятие	знание закона Кулона, владение теорией потенциала
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Уравнения Максвелла и общие свойства э.м. полей Письменное контрольное мероприятие	Знание закона Био-Савара, умение находить магнитные поля систем постоянных токов. Знание уравнений электромагнитных волн.
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Специальная теория относительности Итоговое контрольное мероприятие	Знание уравнений Максвелла, владение методами нахождения полей движущихся источников. Знание основ СТО

Спецификация мероприятий текущего контроля

Введение

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Дифференцирование векторов: градиент, дивергенция,	4

ротор	
Закон Кулона, поле электрического диполя, Закон Био-Савара-Лапласа	3
Преобразование векторных произведений	2
Индексная форма записи	1

Электростатика

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
знание закона Кулона	7
знание теории потенциала, интеграла Пуассона	6
владение методами расчета энергии электростатических полей	6
умение рассчитывать поля систем зарядов	6
знание принципа суперпозиции	5

Уравнения Максвелла и общие свойства э.м. полей

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Умение вычислять энергию магнитных полей	7
Умение находить дипольный магнитный момент системы токов	6
Знание уравнений Даламбера, уравнений Максвелла. Умение получать волновые уравнения, описывать распространение электромагнитных волн в различных средах	6
Умение рассчитывать поля систем стационарных токов	6
Знание закона Био-Савара	5

Специальная теория относительности

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Умение рассчитывать поля систем движущихся зарядов	10
Владение основными методами описания систем зарядов, движущихся с околосветовыми скоростями. Умение описывать сокращение длины, замедление времени, эффект Доплера,	10

сложение скоростей.	
Владение навыками расчёта потенциалов движущихся зарядов, знание понятий запаздывающего потенциала, потенциалов Лиенара-Вихерта.	7
Умение находить интенсивности излучения электромагнитных волн	7
Знание основных концепций специальной теории относительности	6