

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

**ПЛАН
ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА
"ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ"
КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

МОСКВА 2025

ПЛАН ЛЕКЦИЙ

По разделу «Электромагнетизм» общего курса физики (2025 г.)

Лектор: проф. П.А. Поляков

Лекция 1.

Электромагнитное взаимодействие и его место среди других взаимодействий в природе. Электризация трением. Электрический заряд. Два типа электрических зарядов. Диэлектрики и проводники. Электроскопы и электрометры. Электростатическая индукция. Электризация проводника через влияние. Принцип работы электрофорной машины. Генератор Ван-де-Граафа. Закон сохранения электрического заряда. Опыт Милликена. Элементарный заряд. Развитие физики электричества в работах М.В.Ломоносова.

Лекция 2.

Электростатика. Закон Кулона и его полевая трактовка. Вектор напряженности электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Объемная, поверхностная и линейная плотности континуального распределения электрического заряда. Напряженность электрического поля, создаваемая непрерывным распределением зарядов. Пример решения задач электростатики. Линии напряженности электрического поля.

Краткий обзор математических понятий, необходимых для изучения курса.

Лекция 3.

Поток вектора напряженности электрического поля. Электростатическая теорема Остроградского–Гаусса, ее представление в дифференциальной форме. Примеры использования теоремы Остроградского–Гаусса

Потенциальность электростатического поля. Потенциал. Нормировка потенциала. Связь вектора напряженности электростатического поля и потенциала. Работа сил электростатического поля. Потенциал системы зарядов.

Лекция 4.

Циркуляция вектора напряженности электрического поля. Теорема о циркуляции, ее представление в дифференциальной форме.

Уравнения Пуассона и Лапласа.

Электрический диполь. Пример решения задач электростатики с помощью уравнений Пуассона и Лапласа.

Лекция 5.

Проводники в электростатическом поле. Электростатическая индукция. Напряженность поля у поверхности и внутри проводника. Распределение заряда по поверхности проводника. Электростатическая защита. Метод Кавендиша проверки закона Кулона. Метод изображений решения задач электростатики проводников. Проводящий шар в однородном электростатическом поле.

Лекция 6.

Связь между зарядом и потенциалом проводника. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского, сферического и цилиндрического конденсаторов. Сложные конденсаторы. Потенциальные и емкостные коэффициенты. Оценка глубины проникновения электростатического поля в проводники в рамках классической теории проводимости Друде - Лоренца.

Лекция 7.

Диэлектрики. Свободные и связанные заряды. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации со связанными зарядами.

Вектор электрической индукции в диэлектрике. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества. Материальное уравнение для векторов электрического поля.

Теорема Остроградского – Гаусса для диэлектриков. Ее дифференциальная форма.

Лекция 8.

Граничные условия для векторов напряженности и электрической индукции. Преломление линий напряженности и индукции. Электрическое поле однородно поляризованного диэлектрического

шара. Диэлектрический шар в однородном электрическом поле. Фактор формы.

Лекция 9.

Энергия системы электрических зарядов. Энергия взаимодействия и собственная энергия. Энергия электростатического поля и ее объемная плотность. Энергия точечного заряда и классический радиус электрона. Энергия электрического диполя во внешнем поле.

Лекция 10.

Пондеромоторные силы в электрическом поле. Связь пондеромоторных сил с энергией системы зарядов. Сила и момент силы, действующие на электрический диполь во внешнем поле. Объемная плотность силы, действующей на диэлектрик. Поверхностные силы, действующие на диэлектрик.

Лекция 11.

Электронная теория поляризации диэлектриков. Локальное поле. Неполарные диэлектрики. Формула Клаузиуса – Моссотти. Полярные диэлектрики. Функция Ланжевена. Поляризация ионных кристаллов.

Электрические свойства кристаллов. Пирозлектрики. Пьезоэлектрики. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект и их применение.

Сегнетоэлектрики. Доменная структура сегнетоэлектриков. Гистерезис. Точка Кюри. Применение сегнетоэлектриков.

Лекция 12.

Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока. Линии тока. Электрическое поле в проводнике с током и его источники. Уравнение непрерывности. Условие стационарности тока. Электрическое напряжение. Закон Ома для участка цепи. Электросопротивление.

Закон Ома в дифференциальной форме. Удельная электропроводность вещества. Токи в сплошных средах. Заземление.

Лекция 13.

Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля – Ленца и его дифференциальная форма. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Закон Ома для замкнутой цепи.

Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа. Примеры их применения.

Лекция 14.

Современное представление о природе атмосферного электричества. Экспериментальные данные о распределении электрических зарядов в кучевых и грозовых облаках. Глобальная электрическая цепь. Генерация микроскопических заряженных частиц в облаках. Механизмы пространственного разделения зарядов. Коронный разряд. Механизм образования разряда молний в грозовых облаках.

Лекция 15.

Магнитостатика. Взаимодействие токов. Элемент тока. Закон Био – Савара – Лапласа и его полевая трактовка. Вектор индукции магнитного поля.

Действие магнитного поля на ток. Закон Ампера.

Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции. Вихревой характер магнитного поля. Уравнение $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$. Понятие о векторном потенциале.

Релятивистская природа магнитных взаимодействий.

Лекция 16.

Элементарный ток и его магнитный момент. Магнитное поле элементарного тока. Элементарный ток в магнитном поле.

Магнитное поле движущегося заряда. Взаимодействие движущихся зарядов.

Сила Лоренца. Эффект Холла.

Лекция 17.

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток). Коэффициент самоиндукции (индуктивность). Коэффициент взаимной индукции двух контуров. Потенциальная функция тока. Силы, действующие на контур с током. Взаимодействие двух контуров с током.

Лекция 18.

Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции Фарадея и его дифференциальная форма. Правило Ленца. Индукционные методы измерения магнитных полей. Токи Фуко.

Явление самоиндукции. Экстратоки замыкания и размыкания.

Магнитная энергия тока. Магнитная энергия системы контуров с током. Энергия магнитного поля и ее объемная плотность.

Лекция 19.

Магнетики. Понятие о молекулярных токах. Вектор намагниченности вещества и его связь с молекулярными токами. Вектор напряженности магнитного поля. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость вещества. Материальное уравнение для векторов магнитного поля.

Граничные условия для векторов напряженности и индукции магнитного поля. Магнитная защита. Влияние формы магнетика на его намагниченность.

Лекция 20.

Классификация магнетиков. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Классическое описание диамагнетизма. Ларморова прецессия. Парамагнетизм. Теория Ланжевена.

Микроскопические носители магнетизма. Магнитомеханический опыт Эйнштейна – де-Гааза. Механомагнитный опыт Барнетта. Гиромагнитное отношение.

Лекция 21.

Ферромагнетики. Спонтанная намагниченность и температура Кюри. Доменная структура. Гистерезис намагничивания, кривая Столетова. Остаточная индукция и коэрцитивная сила. Температурная зависимость намагниченности.

Силы, действующие на магнетики в магнитном поле.

Лекция 22.

Физические основы спинтроники. Анизотропный магниторезистивный эффект. Гигантское магнитосопротивление. Туннельное магнитосопротивление. Магниторезистивные сенсоры магнитного поля. Магниторезистивная оперативная память.

Лекция 23.

Современные магнитожёсткие материалы (постоянные магниты). Силы сцепления и отталкивания полюсов постоянных магнитов. Применение постоянных магнитов (магнитная левитация, магнитные втулки, магнитные защелки, в генераторах и электродвигателях, в лазерах на свободных электронах).

Лекция 24.

Квазистационарные токи. Условия квазистационарности. Переходные процессы в RC- и LC-цепях.

Электромагнитные колебания. Колебательный контур. Собственные колебания в контуре. Уравнение гармонических колебаний.

Энергия, запасенная в контуре. Затухающие колебания. Показатель затухания. Время релаксации. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура.

Колебания в связанных контурах. Парциальные колебания и их частоты. Нормальные колебания (моды).

Лекция 25.

Вынужденные колебания в контуре. Процесс установления вынужденных колебаний. Переменный синусоидальный ток. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. Импеданс. Закон Ома для цепей переменного тока. Метод векторных диаграмм и метод комплексных амплитуд.

Лекция 26.

Резонанс напряжений. Напряжения и токи при резонансе. Ширина резонансной кривой.

Резонанс токов. Правила Кирхгофа для цепей переменного тока.

Работа и мощность переменного тока. Эффективные значения тока и напряжения.

Лекция 27.

Техническое применение переменных токов. Генераторы и электродвигатели. Трехфазный ток. Получение и использование вращающегося магнитного поля. Соединение обмоток «звездой» и «треугольником». Фазное и линейное напряжения.

Трансформатор. Принцип действия, устройство, применение. Коэффициент трансформации. Роль сердечника.

Лекция 28.

Высокочастотные токи. Скин-эффект. Толщина скин-слоя. Система уравнений Максвелла как обобщение опытных данных. Ток проводимости и ток смещения. Взаимные превращения электрического и магнитного полей. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Вектор Умова-Пойтинга. Скорость распространения электромагнитных волн.

Лекция 29.

Излучение электромагнитных волн. Волновая зона. Дипольное излучение заряда движущегося с ускорением. Излучение релятивистской частицы. Синхротронное излучение. Применение синхротронного и ондуляторного излучения.

Лекция 30.

Классическая теория электронной проводимости Друде – Лоренца. Опыт Толмена и Стюарта. Законы Ома, Джоуля – Ленца и Видемана – Франца. Ограниченность классической электронной теории.

Понятие о зонной теории твердых тел. Энергетические уровни и формирование энергетических зон. Принцип Паули. Статистика Ферми – Дирака. Особенности зонной структуры диэлектриков, полупроводников и металлов. Объяснение проводимости твердых тел с помощью зонной теории.

Лекция 31.

Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Полупроводники р- и n-типа, р–n-переход. Применение полупроводников: полупроводниковые диоды, транзисторы, фотодиоды, фоторезисторы.

Контактные явления. Контактная разность потенциалов. Термоэлектричество. Термодвижущая сила. Термопары. Эффект Пельтье. Явление Томсона.

Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Магнитная индукция внутри сверхпроводника. Эффект Мейснера. Критическое поле. Высокотемпературная сверхпроводимость. Применение сверхпроводников.

Лекция 32. (Резервная).

ПЛАН СЕМИНАРОВ

Семинар 1. Электростатическое поле в вакууме. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции.

Семинар 2. Электростатическая теорема Гаусса.

Семинар 3. Работа сил и потенциал электростатического поля.

Семинар 4. Уравнения Пуассона и Лапласа. Электрический диполь и его поле.

Семинар 5. Проводники в электростатическом поле.

Семинар 6. Метод электростатических изображений.

Семинар 7. Емкость. Простые конденсаторы и их соединения.

Семинар 8. Контрольная работа.

Семинар 9. Однородный диэлектрик в электростатическом поле. Граничные условия.

Семинар 10. Неоднородный диэлектрик в электростатическом поле.

Семинар 11. Диэлектрики с заданным статическим состоянием поляризации.

Семинар 12. Энергия электрического поля.

Семинар 13. Пондеромоторные силы в электрическом поле.

Семинар 14. Токи в сплошных проводящих средах.

Семинар 15. Расчет цепей постоянного тока. Правила Кирхгофа, методы контурных токов и узловых потенциалов.

Семинар 16. Контрольная работа.

Семинар 17. Магнитные поля проводников с током. Закон Био-Савара-Лапласа.

Семинар 18. Магнитные поля проводников с током. Теорема о циркуляции. Векторный потенциал.

Семинар 19. Сила Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях.

Семинар 20. Закон электромагнитной индукции.

Семинар 21. Самоиндукция и взаимная индукция. Энергия магнитного поля.

Семинар 22. Контрольная работа.

Семинар 23. Пондеромоторные силы и работа в магнитном поле.

Семинар 24. Магнитное поле в магнетиках. Граничные условия. Метод молекулярных токов.

Семинар 25. Поле постоянных магнитов. Магнетики во внешнем магнитном поле. Факторы формы магнетика.

Семинар 26. Энергия магнитного поля и пондеромоторные силы в магнетиках.

Семинар 27. Переходные процессы в электрических цепях.

Семинар 28. Расчет цепей переменного тока. Методы комплексных амплитуд и векторных диаграмм. Мощность в цепях переменного тока.

Семинар 29. Свободные и вынужденные электрические колебания в контурах. Резонанс напряжений и токов.

Семинар 30. Контрольная работа.

ЛИТЕРАТУРА.

Основная.

1. В.А.Алешкевич. Электромагнетизм. Физматлит, 2014, 404 с.
2. А.Н.Матвеев. Электричество и магнетизм. М., Высшая школа, 1983, 463 с. (Переиздана издательством «Лань», 2010 год, 463 с.) [1]
3. С.Г.Калашников. Электричество. М., Физматлит, 2003. 624 с. [2]
4. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Т.3., Физматлит, 2004, 656 с.[3]
5. П.А.Поляков. Презентации лекций (<http://yadi.sk/d/ZRyEPYSJSWgTs>).
6. П.А.Поляков. Видеозаписи лекций:
<https://teach-in.ru/course/electromagnetism-polyakov>
<https://www.youtube.com/watch?v=bjEC1adtxbw&list=PLcsjsqLLSfND8pVRcyYzV8MaRJ7sRM4a>

Дополнительная.

7. И.Е.Тамм. Основы теории электричества. М., Физматлит, 2003. — 616 с.
8. Э.Парселл. Электричество и магнетизм. М., Наука, 1971, 448 с. (Переиздана издательством «Лань», 2005 год, 420 с.)

Сборники задач.

9. О.Н. Васильева, А.М. Салецкий. Электричество и магнетизм. Сборник задач / Учебное пособие. — М.: Физический факультет МГУ, 2019. 544 с.
10. А.С.Жукарев, С.А.Иванов, С.А.Киров, Д.Ф.Киселев, Е.В.Лукашева. Электричество и магнетизм. Методика решения задач./Учебное пособие. М.:Физический факультет МГУ, 2010, 436 с.
11. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. (под ред. И.А.Яковлева). М., Физматлит, 2005, 232 с.
12. И.Е.Иродов. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2002 и др., 448с.
13. Л.И.Антонов, Л.Г.Деденко, А.Н.Матвеев. Методика решения задач по электричеству. М., МГУ, 1982.