

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

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

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

МОСКВА 2024

ПЛАН ЛЕКЦИЙ (2 поток)

Лектор: профессор Ю.А. Кокшаров

Лекция 1.

Роль электромагнитного взаимодействия в природе. Источники электрического и магнитного поля. Электрический заряд и его свойства. Понятие точечного заряда. Основные законы электростатики. Закон Кулона и его полевая трактовка. Вектор напряженности E электрического поля. Линии поля. Принцип суперпозиции для вектора E . Поток вектора E . Теорема Остроградского–Гаусса для E в интегральной форме. опыты Томсона и Милликена.

Лекция 2.

Непрерывное распределение электрического заряда. Линейная, поверхностная и объёмная плотность заряда. Интегральные и дифференциальные характеристики электрического поля. Теорема Остроградского–Гаусса для E в дифференциальной форме. Работа сил электростатического поля. Циркуляция вектора E . Потенциал электростатического поля. Связь вектора E и потенциала. Потенциальные поверхности. Теорема Ирншоу.

Лекция 3.

Уравнения Лапласа и Пуассона для потенциала. Электрическое поле в веществе. Проводники. Явление электростатической индукции. Распределение заряда по поверхности проводника. Электростатическая защита. Связь между зарядом и потенциалом уединённого проводника. Ёмкостные и потенциальные коэффициенты для системы заряженных проводников. Электроёмкость конденсаторов. Теоремы единственности в электростатике. Метод изображений для проводников.

Лекция 4.

Электростатическое поле точечного диполя. Диэлектрики. «Свободные» и «связанные» заряды. Вектор поляризации P . Вектор электрической индукции (смещения) D . Теорема Остроградского – Гаусса для векторов E , D и P . Материальные уравнения для линейного изотропного диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость и восприимчивость. Граничные условия для векторов E , D и P . Влияние формы диэлектрика на его поляризацию. Метод изображений для диэлектриков.

Лекция 5.

Электростатическая энергия системы зарядов. Энергия взаимодействия и собственная энергия. Энергия системы заряженных проводников. Теорема Томсона. Энергия систем с диэлектриками. Объемная плотность энергии электрического поля. Энергия электрического диполя во внешнем поле. Силы, действующие на проводники и диэлектрики в электрическом поле и их связь с электростатической энергией. Первое начало термодинамики для диэлектриков.

Лекция 6.

Виды поляризации. Электронная теория поляризации. Локальное поле. Формулы Клаузиуса – Моссотти и Ланжевена. Электрические свойства кристаллов. Спонтанная поляризация. Пиро- и сегнетоэлектрики. Доменная структура, гистерезис и температура Кюри сегнетоэлектрика. Релаксационная поляризация. Электреты. Электромеханические эффекты. Пьезоэлектрики.

Лекции 7-8.

Постоянный (стационарный) электрический ток. Электродвижущая сила. Линии тока, сила и плотность тока. Линейные проводники. Элементарная микроскопическая теория постоянного тока. Закон Ома в локальной (дифференциальной) форме. Удельная электропроводность. Электрическое поле в проводнике с постоянным током. Электросопротивление. Закон Джоуля – Ленца в локальной форме. Уравнение непрерывности как закон сохранения заряда. Условие стационарности тока.

Закон Ома для участка цепи постоянного тока и для замкнутой цепи. Разветвленные цепи постоянного тока. Правила Кирхгофа. «Эквивалентные» элементы (резисторы, источники ЭДС). Постоянный электрический ток в сплошной среде. Заземление.

Лекция 9.

Магнитное поле и его источники. Вектор \mathbf{B} индукции магнитного поля. Сила Лоренца. Магнитостатика. Закон Био – Савара – Лапласа. Принцип суперпозиции для вектора \mathbf{B} . Магнитное поле элемента тока. Линии магнитного поля. Эффект Холла. Сила, действующая на элемент тока в магнитном поле (закон Ампера). Взаимодействие линейных контуров с токами.

Лекция 10.

Интегральные и дифференциальные характеристики магнитного поля. Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Дивергенция \mathbf{B} . Вихревой характер магнитного поля. Векторный потенциал магнитного поля и его свойства. Элементарный ток (магнитный диполь) и его магнитный момент. Векторный потенциал и вектор магнитной индукции поля элементарного тока (магнитного диполя).

Лекция 11.

Поток вектора магнитной индукции. Коэффициенты взаимной индукции для системы линейных контуров. Формула Неймана. Коэффициент самоиндукции. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индукционные методы измерения магнитных полей. Токи Фуко.

Лекция 12.

Магнитная энергия системы линейных контуров постоянного тока. Собственная и взаимная энергия контуров. Работа сил Ампера. Потенциальная функция взаимодействия двух контуров с током. Энергия элементарного тока во внешнем магнитном поле. Сила и момент сил, действующие на элементарный ток во внешнем магнитном поле. Энергия взаимодействия элементарных токов (магнитных диполей). Объемная плотность энергии магнитного поля.

Лекция 13.

Магнетики. Намагниченность \mathbf{M} вещества и её связь с молекулярными токами и «фиктивными магнитными зарядами». Вектор \mathbf{H} напряженности магнитного поля. Аналогии между уравнениями электро- и магнитостатики. Материальные уравнения для линейного изотропного магнетика. Магнитная проницаемость и восприимчивость. Граничные условия для векторов \mathbf{B} , \mathbf{H} , \mathbf{M} . Магнитная защита. Влияние формы магнетика на его намагниченность.

Лекция 14.

Основные типы магнитного состояния вещества: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Микроскопические носители магнетизма. Гиромагнитное отношение. Орбитальный и

спиновый магнетизм. Квазиклассическое описание диамагнетизма. Ларморова прецессия. Теория парамагнетизма Ланжевена.

Лекция 15.

Ферромагнетики. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетиков. Спонтанная намагниченность и температура Кюри. Доменная структура. «Мягкие» и «жесткие» ферромагнетики. Постоянные магниты. Гистерезис кривых намагничивания. Остаточная индукция и коэрцитивная сила. Размерные эффекты в ферромагнетизме: однодоменные частицы и суперпарамагнетизм. Силы, действующие на магнетики в магнитном поле. Первое начало термодинамики для магнетиков.

Лекция 16.

Квазистационарные токи и поля. Условия квазистационарности. Закон Ома, правила Кирхгофа и закон изменения энергии для цепей квазистационарного тока. Переходные процессы в RC- и LC-цепях. Собственные электромагнитные колебания в RLC контуре. Собственные колебания в связанных контурах. Парциальные и нормальные колебания.

Лекции 17-18.

Затухающие колебания в RLC контуре. Показатель затухания. Время релаксации. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура. Вынужденные колебания в RLC контуре. Процесс установления вынужденных колебаний. Переменный синусоидальный ток. Закон Ома для цепей переменного тока. Работа и мощность переменного тока. Эффективные значения тока и напряжения.

Метод векторных диаграмм и метод комплексных амплитуд. Активное, емкостное и индуктивное сопротивление. Импеданс. Резонанс напряжений. Резонансные кривые и их характеристики. Фазовые и амплитудные соотношения для напряжений и токов при резонансе, больших и малых частотах. Резонанс токов.

Лекция 19.

Правила Кирхгофа для цепей переменного тока. Техническое использование переменных токов. Трансформатор - принцип действия, устройство, применение. Коэффициент

трансформации. Роль сердечника. Генераторы и электродвигатели переменного тока.

Лекция 20.

Трёхфазный ток. Получение и использование вращающегося магнитного поля. Соединение обмоток генератора и нагрузки «звездой» и «треугольником». Фазное и линейное напряжения. Высокочастотные токи. Обобщённое волновое уравнение. Скин-эффект. Толщина скин-слоя.

Лекция 21.

Система уравнений Максвелла для вакуума и сплошной среды. Ток смещения. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Классификация, скорость распространения, поляризация, энергия электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга. Связь электрической и магнитной компоненты в электромагнитной волне.

Лекции 22-23.

Классическая теория электронной проводимости Друде – Лоренца. Опыт Толмена и Стюарта. Законы Ома и Джоуля–Ленца в классической теории проводимости. Понятие о зонной теории твердых тел: диэлектрики, полупроводники, металлы. Общие представления о сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Критическая температура, ток и магнитное поле. Высокотемпературная сверхпроводимость. Термоэлектрические эффекты (Зеемана, Пельтье, Томсона). Магнитокалорический эффект.

Лекция 24.

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

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 изображений в электростатике.
- 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. Закон Ома, 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. Фактор 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.
2. И.Е. Иродов. Основные законы электромагнетизма. М., Высшая школа, 1991.
3. С.Г. Калашников. Электричество. М., Физматлит, 2004.
4. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. М., Высшая школа, 1983.
5. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Т.3., Физматлит, 2004.

Дополнительная.

1. Э. Парселл. Электричество и магнетизм. М., Наука, 1975.
2. Р. Фейнман, Р. Леймон, М. Сендс "Фейнмановские лекции по физике", т.5-6, М.: Наука, 1965.
3. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. М., Наука, 1989.

Сборники задач.

1. О.Н. Васильева, А.М. Салецкий «Электричество и магнетизм. Сборник задач. Учебное пособие.» М.: Физический факультет МГУ, 2019.
2. А.С. Жукарев, С.А. Иванов, С.А. Киров, Д.Ф. Киселёв, Е.В. Лукашёва. «Электричество и магнетизм. Методика решения задач. Учебное пособие.» Физический факультет МГУ, 2010
3. «Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм». (под ред. И.А. Яковлева). М., Наука, 1977.
4. И.Е. Иродов. Задачи по общей физике. М., Наука, 1988.

Дополнительная литература на английском языке.

1. Zangwill A *Modern_electrodynamics* (New York: Cambridge University Press, 2013)
2. Jefimenko O D *Electricity and Magnetism* (USA, Star City: Electret Scientific Company, 1989)
3. Griffiths D J *Introduction to electrodynamics* (New Jersey., Prentice-Hall, 1999)
4. Pierrus J. *Solved Problems in Classical Electromagnetism Analytical and numerical solutions with comments* (Oxford University Press, 2018)