

**Оглавление курса лекций
"ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ".
Проф. В.С. Русаков, 2012 г.**

Введение. Структурная организация и виды фундаментальных взаимодействий материальных объектов.

Глава I. Электростатическое поле в вакууме.

§1. Электрический заряд.

1.1. Определение. Точечный и пробный заряды.

1.2. Микро- и макроскопические материальные носители заряда.

§2. Фундаментальные свойства заряда.

2.1. Два вида заряда.

2.2. Дискретность заряда, элементарный заряд.

2.3. Инвариантность заряда.

2.4. Сохранение заряда.

§3. Закон Кулона. Метод Кавендиша.

§4. Электрическое поле и его напряженность.

4.1. Напряженность электрического поля и принцип суперпозиции.

4.2. Дискретное и непрерывное распределения заряда.

4.3. Силовые линии и их свойства.

§5. Взаимосвязь между напряженностью поля и зарядами.

5.1. Поток напряженности электрического поля.

5.2. Электростатическая теорема Гаусса, ее интегральная форма.

5.3. Нормальные составляющие напряженности поля по обе стороны заряженной поверхности.

5.4. Дивергенция и формула Остроградского-Гаусса.

5.5. Дифференциальная форма теоремы Гаусса.

5.6. Теорема Ирншоу.

§6. Работа сил электростатического поля.

6.1. Потенциальность электростатического поля.

6.2. Разность потенциалов и потенциал поля.

6.3. Принцип суперпозиции и потенциал поля системы зарядов.

А. Дискретное распределение заряда.

Б. Непрерывное распределение заряда.

6.4. Локальная связь между потенциалом и напряженностью электрического поля. Градиент и производная по направлению.

6.5. Эквипотенциальные поверхности и их свойства.

6.6. Электрический диполь и его поле.

6.7. Поля электрически нейтральной и нескомпенсированной систем зарядов.

§7. Циркуляция напряженности электрического поля.

7.1. Теорема о циркуляции напряженности поля.

7.2. Тангенциальные составляющие напряженности поля по обе стороны заряженной поверхности.

7.3. Ротор и формула Стокса.

7.4. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции напряженности поля.

§8. Задачи электростатики. Уравнения Пуассона и Лапласа.

Глава II. Электростатическое поле в веществе.

§1. Микро- и макроскопические поля.

1.1. Теоремы для макроскопических полей.

1.2. Явление электрической индукции. Проводники и диэлектрики.

§2. Проводники в электростатическом поле.

2.1. Электрическое поле и распределение заряда.

А. Внутри проводника.

Б. У поверхности проводника.

В. Механизм образования поля вблизи поверхности проводника.

Г. Силы, действующие на заряд проводника.

Д. Влияние кривизны поверхности проводника.

2.2. Свойства замкнутой проводящей однородной оболочки.

А. Электростатическая защита от внешнего поля.

Б. Электростатически независимые части пространства.

В. Экранировка зарядов.

2.3. Метод электрических изображений.

§3. Связь между зарядами и потенциалами проводников.

3.1. Емкость уединенного проводника.

3.2. Простые конденсаторы и их емкость.

3.3. Параллельное и последовательное соединение батареи конденсаторов.

3.4. Система проводников. Емкостные коэффициенты.

3.5. Теорема взаимности и свойства емкостных коэффициентов.

§4. Диэлектрики в электростатическом поле.

4.1. Механизмы электрической индукции.

4.2. Связанные заряды и вектор поляризации.

А. Теорема Гаусса для вектора поляризации.

Б. граничное условие для нормальной составляющей вектора поляризации.

4.3. Электрическая индукция и теорема Гаусса.

4.4. Граничные условия при наличии диэлектриков.

4.5. Материальные уравнения для электрического поля. Диэлектрическая проницаемость и восприимчивость вещества.

- 4.6. **Граничные условия для линейных изотропных диэлектриков. Преломление линий векторов электрического поля. Неполное экранирование.**
- 4.7. **Поле в однородном линейном изотропном диэлектрике.**
 - А. **Взаимосвязь свободных и связанных зарядов.**
 - Б. **Граница раздела проводник – диэлектрик**
 - В. **Неограниченный и ограниченный диэлектрик в системе заряженных проводников.**
- 4.8. **Электрическое поле в полостях диэлектрика. Измерение напряженности и индукции электрического поля.**
- 4.9. **Факторы формы диэлектрика.**
- §5. **Энергия системы электрических зарядов.**
 - 5.1. **Взаимная энергия системы точечных зарядов. Энергия парного взаимодействия.**
 - 5.2. **Энергия системы непрерывно распределенных зарядов. Взаимная и собственная энергии зарядов**
 - 5.3. **Энергия электростатического поля и ее объемная плотность.**
 - 5.4. **Энергия точечного заряда и электрического диполя во внешнем поле.**
 - А. **Точечный заряд.**
 - Б. **Точечный электрический диполь.**
- §6. **Пондеромоторные силы в электростатическом поле.**
 - 6.1. **Силы, действующие на заряды во внешнем поле.**
 - А. **Точечный и непрерывно распределенный заряд.**
 - Б. **Точечный электрический диполь.**
 - 6.2. **Силы в проводниках.**
 - 6.3. **Объемные силы в диэлектриках.**
 - 6.4. **Связь пондеромоторных сил с энергией системы зарядов.**
 - 6.5. **Поверхностные силы в диэлектриках.**
 - А. **Электрическое поле перпендикулярно границе раздела.**
 - Б. **Электрическое поле параллельно границе раздела.**
- §7. **Электронная теория поляризации.**
 - 7.1. **Локальное поле.**
 - 7.2. **Неполярные диэлектрики.**
 - А. **Электронная поляризация. Электронная поляризуемость молекулы.**
 - Б. **Разреженные газы и плотные вещества. Формула Моссоли-Клаузиуса.**
 - 7.3. **Полярные диэлектрики.**
 - А. **Ориентационная поляризация. Функция Ланжевена.**
 - Б. **Формула Ланжевена-Дебая. Закон Кюри.**
 - 7.4. **Ионные кристаллы. Ионная поляризация. Модель упругой связи.**

- §8. Электрические свойства кристаллических диэлектриков.
 - 8.1. Пьезоэлектрики. Прямой и обратный, продольный и поперечный пьезоэлектрические эффекты.
 - 8.2. Пироэлектрики. Прямой и обратный пироэлектрические эффекты.
 - 8.3. Сегнетоэлектрики.
 - А. Доменная структура и гистерезис.
 - Б. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейсса.
 - В. Антисегнето- и сегнетиэлектрики.
 - Г. Применение.

Глава III. Постоянный электрический ток.

- §1. Действия электрического тока.
- §2. Плотность и сила тока. Линии, трубки и нити тока.
- §3. Уравнение непрерывности и условие стационарности тока.
Свойства линий и трубок стационарного тока
- §4. Закон Ома.
 - 4.1. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника.
Удельная проводимость.
 - 4.2. Соединения проводников.
 - 4.3. Дифференциальная форма закона Ома.
- §5. Электрическое поле стационарных токов.
 - 5.1. Свойства электрического поля стационарных токов и объемное распределение заряда в проводящих средах.
 - 5.2. Граничные условия и поверхностное распределение заряда.
 - А. Поверхность раздела двух проводников.
 - Б. Поверхность раздела проводника с диэлектриком.
 - В. Поле в изогнутом проводнике с током. Квазилинейный проводник.
- §6. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца и его дифференциальная форма.
- §7. Механизм поддержания постоянного тока. Сторонние силы, их напряженность и электродвижущая сила.
- §8. Обобщенный закон Ома в дифференциальной и интегральной формах. Закон Ома для замкнутой цепи.
- §9. Разветвленные цепи. Узлы и замкнутые контуры цепи
 - 9.1 Правила Кирхгофа.
 - 9.2 Метод контурных токов.
 - 9.3. Метод узловых потенциалов.
 - 9.4. Метод эквивалентных точек.
- §10. Токи в сплошных проводящих средах.
- §11. Закон сохранения энергии для цепей постоянного тока.

Глава IV. Магнитное поле токов в вакууме.

- §1. Взаимодействие токов.
 - 1.1. Линейный ток, линейный и объемный элементы тока.

- 1.2. Закон Ампера и принцип суперпозиции. Закон взаимодействия медленно движущихся зарядов.
- 1.3. Закон Ампера и третий закон Ньютона.
- §2. Магнитное поле и его индукция.
 - 2.1. Закон Био-Савара-Лапласа и сила Ампера.
 - 2.2. Магнитная индукция и принцип суперпозиции магнитных полей.
 - 2.3. Поле прямого тока и сила взаимодействия прямых токов.
 - 2.4. Силовые линии магнитного поля и их свойства.
- §3. Теорема о циркуляции магнитной индукции.
 - 3.1. Интегральная форма теоремы о циркуляции. Магнитное напряжение.
 - 3.2. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции.
- §4. Теорема Гаусса для магнитного поля.
 - 4.1. Дивергенция магнитной индукции.
 - 4.2. Поток магнитной индукции.
- §5. Понятие о векторном потенциале магнитного поля.
 - 5.1. Определение и кулоновская калибровка потенциала.
 - 5.2. Потенциал поля объемного и линейного распределений тока.
- §6. Элементарный ток и его магнитный момент. Магнитное поле элементарного тока.
- §7. Магнитное поле движущегося заряда. Опыты Роуланда и Эйхенвальда.
- §8. Движущиеся заряды в электромагнитном поле.
 - 8.1. Сила Лоренца и ее составляющие.
 - 8.2. Движение заряда в электромагнитном поле.
 - А. Постоянное однородное электрическое поле.
 - Б. Постоянное однородное магнитное поле.
 - В. Постоянные взаимно перпендикулярные однородные электрическое и магнитное поля.
 - 8.3. Эффект Холла. Постоянная Холла и подвижность носителей заряда.

Глава V. Электромагнитная индукция.

- §1. Формула и закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.
- §2. Механизмы электромагнитной индукции.
 - 2.1. Сила Лоренца. Э.д.с. индукции. Работа э.д.с. индукции и пондеромоторных сил.
 - 2.2. Индукционное электрическое поле. Токи Фуко.
- §3. Дифференциальная форма закона Фарадея. Вихревое индукционное электрическое поле
- §4. Индукционные методы измерения характеристик магнитного поля.
 - 4.1. Измерение магнитной индукции. Флюксометр.

- 4.2. Измерение магнитного напряжения. Пояс Роговского.
- §5. Явление самоиндукции. Экстратоки.
 - 5.1. Коэффициент самоиндукции.
 - 5.2. Батареи индуктивностей.
- §6. Явление и коэффициенты взаимной индукции.
- §7. Энергия магнитного поля.
 - 7.1. Собственная энергия электрического тока.
 - 7.2. Объемная плотность энергии магнитного поля.
 - 7.3. Энергия системы контуров с током.
- §8. Методы расчета коэффициентов индукции.
- §9. Силы, действующие на токи в магнитном поле. Три основных метода расчета.
 - 9.1. Элементарный ток в магнитном поле.
 - А. Однородное поле. Пробный виток с током. Измерение магнитной индукции.
 - Б. Неоднородное поле. Случаи постоянного момента и отсутствия токов
 - 9.2. Энергия поля и пондеромоторные силы.
 - 9.3. Взаимодействие контуров с током и третий закон Ньютона.

Глава VI. Магнитное поле в веществе. Магнетики.

- §1. Микроскопические и макроскопические магнитные поля, молекулярные токи и токи намагничивания.
- §2. Вектор намагниченности.
 - 2.1. Вектор намагниченности и токи намагничивания.
 - 2.2. Граничное условие для тангенциальной составляющей вектора намагниченности.
 - 2.3. Теорема о циркуляции для вектора намагниченности.
- §3. Напряженность магнитного поля и его циркуляция.
- §4. Материальные уравнения. Магнитная восприимчивость и проницаемость вещества.
- §5. Граничные условия для векторов магнитного поля.
 - 5.1. Нормальные и тангенциальные составляющие.
 - 5.2. Граничные условия для линейных изотропных магнетиков. Закон преломления линий магнитной индукции. Магнитная защита.
 - 5.3. Граничные условия для векторного потенциала.
- §6. Поле в однородном линейном изотропном магнетике.
 - 6.1. Взаимосвязь токов проводимости и намагничивания.
 - 6.2. Неограниченный и ограниченный непроводящий магнетик в системе проводников с токами.
 - 6.3. Магнитное поле в полостях магнетика. Измерение напряженности и индукции магнитного поля.
 - 6.4. Факторы формы магнетика. Слабые и сильные магнетики.
- §7. Энергия магнитного поля при наличии магнетиков.

§8. Силы, действующие на магнетики в магнитном поле.

8.1. Объемные силы. Учет формы магнетика.

8.2. Поверхностные силы.

А. Магнитное поле перпендикулярно границе раздела.

Б. Магнитное поле параллельно границе раздела.

§9. Диамагнетики. Механизм намагничивания.

9.1. Гиромагнитное отношение.

9.2. Ларморова прецессия.

9.3. Классическое описание диамагнетизма.

§10. Парамагнетики. Теория Ланжевена.

§11. Ферромагнетики.

11.1. Характерные особенности.

А. Нелинейный магнетик. Кривая Столетова.

Б. Магнитный гистерезис. Работа при намагничивании магнетика.

В. Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейса.

11.2. Природа ферромагнетизма. Спонтанная намагниченность и доменная магнитная структура.

§12. Гиромагнитные эффекты.

12.1. Механический и магнитный моменты атома. g-Фактор.

12.2. Магнитомеханический эффект Эйнштейна-де Гааза.

12.3. Механомагнитный эффект Барнетта.

Глава VII. Квазистационарные электромагнитные процессы.

§1. Условия квазистационарности.

1.1. Локальное условие.

1.2. Нелокальное условие.

§2. Переходные процессы в электрических цепях.

2.1. RC-цепь.

2.2. RL-цепь.

§3. Колебательный контур.

3.1. Собственные линейные колебания в контуре.

А. Уравнение колебаний, коэффициент затухания и частота собственных колебаний.

Б. Гармонические колебания. Формула Томсона. Энергия колебательного контура с током.

В. Затухающие колебания.

1. Случай слабых затуханий. Логарифмический декремент затухания и добротность контура.

2. Случай сильных затуханий.

3.2. Вынужденные колебания в контуре.

3.3. Резонанс.

А. Решение уравнения вынужденных колебаний.

Б. Резонансная кривая, ее амплитуда и ширина.

В. Разность фаз и мощность э.д.с. при резонансе.

§4. Колебания в связанных электрических контурах.

4.1. Система уравнений свободных колебаний.

4.2. Нормальные координаты, колебания и их частоты. Энергия колебаний.

§5. Переменный синусоидальный ток.

5.1. Метод комплексных амплитуд. Импеданс. Закон Ома и правила Кирхгофа.

5.2. Метод векторных диаграмм.

5.3. Примеры применения методов.

А. Резонанс напряжений.

Б. Резонанс токов.

5.4. Работа и мощность переменного тока. Эффективные значения силы тока и напряжения. Коэффициент мощности цепи.

§6. Электрические контуры с взаимной индукцией.

6.1. Уравнения для сил токов в контурах.

6.2. Трансформатор – устройство и принцип действия. Коэффициент трансформации.

§7. Высокочастотные токи.

7.1. Скин-эффект.

7.2. Толщина скин-слоя.

А. Нормальный скин-эффект. Уравнение для напряженности электрического поля.

Б. Зависимость напряженности электрического поля от глубины.

7.3. Генератор Тесла.

Глава VIII. Механизмы проводимости твердых тел.

§1. Классическая электронная теория проводимости Друде-Лоренца.

1.1. Опыт Рикке.

1.2. Опыты Толмена и Стюарта.

1.3. Законы Ома и Джоуля-Ленца в классической теории.

1.4. Закон Видемана-Франца.

1.5. Трудности классической теории.

§2. Понятие о зонной теории твердых тел.

2.1. Энергетические уровни и формирование энергетических зон.

2.2. Принцип Паули и энергия Ферми. Валентная зона и зона проводимости.

2.3. Статистика Ферми-Дирака. Химический потенциал. Особенности распределения Ферми-Дирака. Вырожденный и невырожденный ферми-газы.

2.4. Плотность состояний и распределение электронов по энергии.

2.5. Особенности зонной структуры металлов, полупроводников и изоляторов. Ширина запрещенной зоны.

§3. Проводимость полупроводников.

- 3.1. Собственная и примесная проводимости. Донорные и акцепторные примеси. Полупроводники n- и p-типа. Основные и неосновные носители заряда.
- 3.2. Электронно-дырочный (p-n)-переход. Вольт-амперная характеристика.
- 3.2. Применение полупроводников.
- §4. Контактные явления в проводниках.
 - 4.1. Химический потенциал электронов, термоэлектронная работа выхода и электронное сродство.
 - 4.2. Внутренняя и внешняя контактные разности потенциалов.
 - 4.3. Термоэлектрические явления.
 - А. Явление Зеебека.
 - Б. Явление Пельтье.
 - В. Явление Томсона.
- §5. Сверхпроводимость.
 - 5.1. Основные свойства сверхпроводников.
 - А. Критическая температура и напряженность магнитного поля.
 - Б. Эффект Мейснера.
 - В. Сверхпроводимость первого и второго рода.
 - 5.2. Природа сверхпроводимости.
 - 5.3. Применение сверхпроводников.
 - А. Сверхпроводящие магниты.
 - Б. Эффект Джозефсона, сверхпроводящий квантовый интерференционный датчик (СКВИД).

Глава IX. Система уравнений Максвелла, как обобщение опытных данных.

- §1. Взаимные превращения электрических и магнитных полей. Ток проводимости и ток смещения.
- §2. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.
- §3. Электромагнитные волны и их свойства.
 - 3.1. Волновое уравнение. Принцип суперпозиции. Скорость света.
 - 3.2. Плоские бегущие электромагнитные волны и их свойства.
 - А. Общее решение волнового уравнения. Волновой фронт.
 - Б. Ориентация и взаимосвязь полевых векторов.
- §4. Поток и плотность потока энергии электромагнитной волны.
 - 4.1. Вектор Умова-Пойнтинга.
 - 4.2. Закон изменения энергии электромагнитного поля.