

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

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

**ПЛАН
ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА
"ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ"
КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

МОСКВА 2025

ПЛАН ЛЕКЦИЙ

По разделу «Электричество и магнетизм» общего курса физики (2025 г.)

Лектор: проф. С.В. Колесников

Лекция 1.

Электромагнитное взаимодействие и его место среди других взаимодействий в природе. Электризация трением. Два типа электрических зарядов. Электроскоп. Закон сохранения электрического заряда. Опыт Милликаена. Элементарный заряд.

Лекция 2.

Основные определения и приближения электродинамики. Краткий обзор математических понятий, необходимых для изучения курса. Уравнения электродинамики в вакууме. Принцип суперпозиции полей. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности.

Лекция 3.

Электростатика. Вектор напряженности электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Уравнения электростатики. Теорема Гаусса. Примеры применения теоремы Гаусса. Теорема о циркуляции напряженности электрического поля. Напряженность электрического поля точечного заряда. Закон Кулона. Опыты Кулона и Кавендиша. Теорема Ирншоу.

Лекция 4.

Потенциал электростатического поля (скалярный потенциал). Связь вектора напряженности электростатического поля и потенциала. Примеры вычисления потенциала. Работа сил электростатического поля. Потенциальная энергия системы точечных зарядов и зарядов, распределенных непрерывно в пространстве.

Лекция 5.

Электрический диполь. Потенциал и напряженность поля диполя. Дипольный момент системы зарядов.

Уравнения Лапласа и Пуассона. Примеры решения уравнений Лапласа и Пуассона: потенциал равномерно заряженного шара, колебания плазмы, дебаевская экранировка потенциала в электролите.

Лекция 6.

Проводники в электростатическом поле. Электростатическая индукция. Напряженность поля у поверхности и внутри проводника. Распределение заряда по поверхности проводника. Электростатическая защита.

Метод электростатических изображений. Точечный заряд вблизи проводящей плоскости. Точечный заряд вблизи проводящей сферы.

Лекция 7.

Связь между зарядом и потенциалом проводника. Емкостные и потенциальные коэффициенты. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского, сферического и цилиндрического конденсаторов.

Лекция 8.

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

Вектор электрической индукции в диэлектрике. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества. Материальное уравнение для векторов электрического поля. Теорема Гаусса для вектора электрической индукции. Ее дифференциальная форма.

Лекция 9.

Граничные условия для векторов напряженности и электрической индукции и поляризации среды. Диэлектрический шар в однородном электрическом поле. Факторы формы.

Лекция 10.

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 11.

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 12.

Микроскопическая теория поляризации диэлектриков. Локальное поле. Неполярные диэлектрики. Формула Клаузиуса – Моссотти.

Полярные диэлектрики. Теория Ланжевена.

Электрические свойства кристаллов. Пироэлектрики. Пьезоэлектрики. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Сегнетоэлектрики. Доменная структура сегнетоэлектриков. Гистерезис. Точка Кюри.

Лекция 13.

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. Температурная зависимость электросопротивления нормального металла.

Закон Ома в локальной («дифференциальной») форме. Удельная электропроводность вещества. Токи в сплошных средах. Шаговая разность потенциалов. Конденсатор с утечкой.

Лекция 14.

Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля – Ленца и его локальная форма. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Закон Ома для замкнутой цепи. Последовательное и параллельное соединение резисторов.

Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа.

Лекция 15.

Вектор индукции магнитного поля. Векторный потенциал электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность электромагнитного поля. Калибровка Кулона.

Магнитостатика. Уравнения магнитостатики. Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции. Поле бесконечно длинного соленоида. Эффект Ааронова-Бома.

Уравнения для векторного потенциала и их решения. Закон Био – Савара – Лапласа для объемных токов. Элемент тока. Закон Био – Савара – Лапласа для контура с током.

Лекция 16.

Действие магнитного поля на ток. Сила Лоренца. Закон Ампера.

Элементарный ток и его магнитный момент. Магнитное поле элементарного тока. Элементарный ток в магнитном поле. Потенциальная функция тока. Связь между потенциальной функцией и магнитной энергией. Сила и момент силы, действующие на магнитный диполь.

Лекция 17.

Релятивистская природа электромагнитных сил. Преобразования Лоренца для плотности заряда и плотности тока, скалярного и векторного потенциала, напряженности электрического поля и индукции магнитного поля.

Лекция 18.

Поток вектора магнитной индукции. Коэффициенты индуктивности. Коэффициент самоиндукции. Коэффициент взаимной индукции двух контуров. Магнитная энергия системы контуров с токами. Взаимодействие двух контуров с током. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии.

Лекция 19.

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.

Лекция 20.

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. Аналогии между электростатикой и магнитостатикой. Влияние формы магнетика на его намагниченность.

Лекция 21.

Энергия магнитного поля в магнетиках. Энергия намагничивания магнетика. Объемная плотность силы, действующей на магнетик во внешнем поле. Плотность потока энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга.

Лекция 22.

Классификация магнетиков. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Классическое описание диамагнетизма. Гиромагнитное отношение. Ларморова прецессия. Магнитная восприимчивость диамагнетика.

Парамагнетизм. Теория Ланжевена.

Микроскопические носители магнетизма. Гиромагнитное отношение. Магнитомеханический опыт Эйнштейна – де-Гааза. Механомагнитный опыт Барнетта. Опыт Штерна-Герлаха. Элементарные представления о спиновом и орбитальном магнитном моменте электрона.

Лекция 23.

Ферромагнетики. Спонтанная намагниченность и температура Кюри. Доменная структура. Гистерезис намагничивания, кривая Столетова. Остаточная индукция и коэрцитивная сила. Скачки Баркгаузена. Температурная зависимость намагниченности. Локальное поле. Модель Вейса.

Другие типы магнетиков: антиферромагнетики, ферримагнетики, суперпарамагнетики, слабые ферромагнетики, магнетики с геликоидальной структурой. Топологические магнитные солитоны.

Лекция 24.

Квазистационарные токи. Условия квазистационарности. Переходные процессы в RC- и RL-цепях. Экстратоки размыкания.

Электромагнитные колебания. Последовательный колебательный контур. Собственные колебания в контуре. Уравнение гармонических колебаний. Затухающие колебания. Показатель затухания. Время релаксации. Логарифмический декремент затухания. Балланс энергии в колебательном контуре. Добротность контура.

Лекция 25.

Переменный синусоидальный ток. Метод векторных диаграмм и метод комплексных амплитуд. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. Импеданс. Закон Ома для цепей переменного тока. Правила Кирхгофа для цепей переменного тока. Мощность, потребляемая в цепи переменного тока. Эффективные значения тока и напряжения.

Вынужденные колебания в контуре. Резонанс напряжений. Резонанс токов.

Лекция 26.

Колебания в связанных контурах. Парциальные колебания и их частоты. Нормальные колебания.

Техническое применение переменных токов. Принцип работы трансформатора. Принцип работы генератора и электродвигателя. Трехфазный ток. Соединение обмоток «звездой» и «треугольником». Фазное и линейное напряжения.

Лекция 27.

Высокочастотные токи. Волны в двухпроводной линии. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление линии. Волновое уравнение. Бегущие волны, Монохроматическая бегущая волна. Стоячие волны.

Ток проводимости и ток смещения. Система уравнений Максвелла в вакууме и среде.

Высокочастотные токи. Скин-эффект. Толщина скин-слоя.

Лекция 28.

Электромагнитные волны в вакууме. Волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн. Плоские волны. Монохроматические

плоские волны. Поляризация электромагнитной волны. Плотность потока энергии и интенсивность.

Излучение электромагнитных волн в дипольном приближении. Запаздывающие потенциалы. Мощность излучения ускоренно движущегося заряда.

Лекция 29.

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

Основы зонной проводимости твердого тела. Волны де Бройля. Объем квантового состояния. Уровни энергии и плотность квантовых состояний. Распределение Ферми-Дирака. Энергетические зоны. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Эффективная масса электрона. Закон Видемана – Франца.

Лекция 30.

Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Полупроводники p - и n -типа, p - n -переход. Полупроводниковые диоды.

Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Магнитная индукция внутри сверхпроводника. Эффект Мейснера. Критическое поле. Сверхпроводники первого и второго рода.

Лекция 31. Контактные явления. Контактная разность потенциалов. Эффекты переноса в проводниках и полупроводниках. Термоэлектричество. Эффект Зеебека. Термопары. Эффект Пельтье. Явления переноса во внешнем магнитном поле. Эффект Холла. Эффект Нернста. Эффект Ледюка-Риги. Эффект Эттингсгаузена.

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.)
3. С.Г.Калашников. Электричество. М., Физматлит, 2003. 624 с.
4. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Т.3., Физматлит, 2004, 656 с.
5. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике: Том 5. Электричество и магнетизм. URSS, 2016, 304 с.
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике: Том 6. Электродинамика. URSS, 2014, 360 с.

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. В.М. Буханов, О.Н. Васильева, Е.В. Лукашева, В.С. Русаков. Электричество и магнетизм. Методика решения задач / Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и дополн. М.: Физический факультет МГУ, 2018. 608 с.
11. 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.
12. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. (под ред. И.А.Яковлева). М., Физматлит, 2005, 232 с.
13. И.Е.Иродов. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2002 и др., 448с.
14. Л.И.Антонов, Л.Г.Деденко, А.Н.Матвеев. Методика решения задач по электричеству. М., МГУ, 1982.