

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

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

---

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

**МОСКВА 2019**

# ПЛАН ЛЕКЦИЙ

по курсу “Электромагнетизм”, 2019 г (осенний семестр).

Лектор: профессор Ю.А. Кокшаров

## Лекция 1.

Роль электромагнитного взаимодействия в природе. Источники электрического и магнитного поля. Электрический заряд и его свойства. Линейная, поверхностная и объёмная плотность заряда. Законы электростатики. Закон Кулона и его полевая трактовка. Вектор напряженности  $E$  электрического поля. Принцип суперпозиции. Поток вектора  $E$ . Теорема Остроградского–Гаусса для  $E$  в интегральной форме.

## Лекция 2.

Интегральные и дифференциальные характеристики электрического поля. Работа сил электростатического поля. Циркуляция вектора  $E$ . Потенциал электростатического поля. Связь вектора  $E$  и потенциала. Электростатическое поле точечного диполя. Уравнения Лапласа и Пуассона для потенциала. Теоремы единственности в электростатике. Теорема Ирншоу.

## Лекция 3.

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. Метод изображений для проводников.

## Лекция 4.

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

заряжённых проводников. Теорема Томсона. Энергия систем с диэлектриками. Объемная плотность энергии электрического поля. Электрический диполь 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 – Моссогти и Ланжевена. Электрические свойства кристаллов. Спонтанная поляризация. Пиро- и сегнетоэлектрики. Доменная структура, гистерезис и температура Кюри сегнетоэлектрика. Релаксационная поляризация. Электреты. Электромеханические эффекты. Пьезоэлектрики.

### **Лекция 7.**

Постоянный (стационарный) электрический ток. 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.

### **Лекция 8.**

Электродвижущая сила. 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. Магнитное поле нерелятивистского равномерно движущегося точечного заряда. Магнитостатика. Закон Био – Савара – Лапласа. Принцип суперпозиции для вектора  $\mathbf{B}$ . Магнитное поле элемента тока. Линии магнитного поля. Сила Лоренца. 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. "Экстратоки" замыкания и размыкания. 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. 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. Метод изображений для магнетиков.

## **Лекция 14.**

Основные типы магнитного состояния вещества: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Орбитальный и спиновый магнетизм. Квазиклассическое описание диамагнетизма. Ларморова прецессия. Теория парамагнетизма Ланжевена. Микроскопические носители магнетизма. Гиромагнитное отношение.

## **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.

## **Лекция 17.**

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.

## **Лекция 18.**

Метод векторных диаграмм и метод комплексных амплитуд. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. 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 компонент в электромагнитной волне.

## **Лекция 22.**

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.

## **Лекция 23.**

Контактные явления. Термоэлектрические эффекты (Зеемана, Пельтье, Томсона). Магнитокалорический эффект.

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

## **Лекция 24. 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.
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. 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
2. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. (под ред. И.А.Яковлева). М., Наука, 1977.
3. И.Е.Иродов. Задачи по общей физике. М., Наука, 1988.